

3100099010890

TUGAS AKHIR (NA.1701)

**STUDI SIFAT DINAMIKA GELEMBUNG AIR  
UNTUK PEMODELAN KAVITASI  
PADA PENAMPANG SAYAP**



RSPe  
623.812  
Rah  
S-1  
1997

OLEH :

**MIFTAHOR RAHMAN**  
NRP : 4193.100.063

**JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
1997**





# JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN

## FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN ITS

### SURAT KEPUTUSAN TUGAS AKHIR (NA 1701)

No. : 18 /PT12.FTK2/M/1996

Nama Mahasiswa : Miftahor Rahman .....  
Nomor Pokok : 4934100551 .....  
Tanggal diberikan tugas : 14 Maret 1996 .....  
Tanggal selesai tugas : 26 Juli 1996 .....  
Dosen Pembimbing : 1. Ir. Mahardjo Wartonono .....  
2. IR. Ir. Wisnawadhana .....

Uraian / judul tugas akhir yang diberikan :

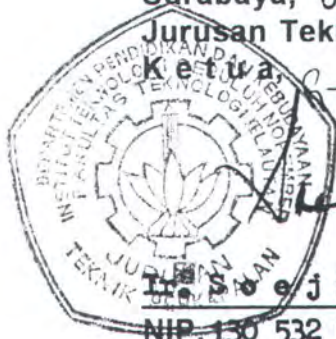
STUDY SIFAT DINAMIKA GELEMBUNG AIR UNTUK PEMODELAN KAVITASI PADA PENAMPANG SAYAP

son

Surabaya, 02 April 1996

Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS

Ketua



Ir. Mahardjo Wartonono

NIP. 130 532 029

Tembusan :

1. Yth. Dekan FTK-ITS.
2. Yth. Dosen Pembimbing.
3. Arsip.

**LEMBAR PENGESAHAN**

**TUGAS AKHIR (NA.1701)**

**STUDI SIFAT DINAMIKA GELEMBUNG AIR  
UNTUK PEMODELAN KAVITASI  
PADA PENAMPANG SAYAP**

**Mengetahui dan menyetujui  
Dosen Pembimbing :**



**Ir. MAHARJO WARTONO**  
Nip.130687435



**Dr. Ir. WISNU WARDHANA**  
Nip.680001934

## ABSTRAK

Kavitasi adalah suatu fenomena hidrodinamika yang ditandai dengan timbulnya gelembung-gelembung air yang mempunyai tekanan mendekati titik didihnya.

Secara umum pengaruh dari gelembung-gelembung air yang membentuk fenomena kavitasi pada penampang sayap, adalah merubah garis-garis *Stream line* pada perjalanan partikel air, yang pada gilirannya akan mempengaruhi kinerja dari penampang sayap tersebut.

Pada tugas akhir ini studi sifat dinamika gelembung air, sesuai dengan kondisi dimana gelembung-gelembung air tersebut berada (sifat tekanan dan kecepatannya), akan dilakukan untuk mengetahui seberapa jauh suatu fenomena kavitasi dapat didekati dengan sifat-sifat gelembung secara individual.



## KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan Syukur Alhamdulillah, atas segala rahmat serta hidayah yang telah diberikan oleh Allah SWT, akhirnya penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini .

Tugas akhir ini disusun sebagai persyaratan akademis bagi Mahasiswa dalam mengakhiri studinya di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), untuk meraih gelar sarjana (S1) .

Pada kesempatan ini, penulis mencoba untuk membahas masalah yang penulis beri judul " **STUDY SIFAT DINAMIKA GELEMBUNG AIR UNTUK PRMODELAN KAVITASI PADA PENAMPANG SAYAP** " .

Pada kesempatan ini tak lupa penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala bantuan yang telah diberikan kepada penulis, Penghargaan ini penulis tujukan kepada :

1. Ayah , istri serta anakku ( Abd.Samad , Nurul dan Naully )
2. Bapak Dr.Ir. Wisnu Wardhana dan Bapak Ir. Maharjo W, selaku dosen pembimbing dalam penyusunan Tugas akhir ini.
3. Bapak Ir.Soejitno , selaku dosen wali.

4. Bapak-bapak Dosen dan Karyawan ( Administrasi, Perpustakaan, Lab.Komputer, Ruang gambar ) dilingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.
5. Bapak-bapak dan mas-mas di LHI-BPPT Surabaya
6. Semua rekan-rekan yang tidak dapat penulis sebut satu-persatu.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan pada penulisan tugas akhir ini, untuk itu kritik serta saran yang sifatnya membangun sangat penulis harapkan untuk menambah kesempurnaannya.

Akhirnya penulis berharap bahwa tesis ini dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Surabaya, 1997

Penulis



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN

ABSTRAK

KATA PENGANTAR.....( i )

DAFTAR ISI.....( iii )

DAFTAR TABEL.....(vi )

DAFTAR GRAFIK.....( vii )

DAFTAR GAMBAR.....( viii )

DAFTAR NOTASI.....( x )

BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang.....1

1.2. Tujuan dan manfaat penulisan.....2

1.3. Batasan masalah.....3

1.4. Metodologi penulisan.....4

BAB II. DASAR TEORI

2.1. Transformasi atau pemetaan.....5

2.1.1. Pemetaan Conformal.....6

2.1.2. Transformasi Joukowski.....7

2.2. Bilangan kompleks.....9



2.3.	Geometris penampang sayap.....	11
2.4.	Aliran fluida di sekitar penampang sayap.....	13
2.5.	Teori sirkulasi.....	18
2.6.	Aliran dasar elementer.....	19
2.6.1.	Aliran seragam.....	20
2.6.2.	Source dan sink.....	22
2.6.3.	Aliran vortex.....	23
2.7.	Vortex sheet.....	24
2.8.	Metode panel dua dimensi.....	28

### BAB III. TEORI DINAMIKA GELEMBUNG

3.1.	Kavitasi.....	33
3.2.	Insepsi kavitasi.....	36
3.3.	Efek kekentalan.....	39

### BAB IV. PENGEMBANGAN PROGRAM

4.1.	Pembentukan penampang sayap.....	43
4.2.	Penentuan panjang, titik tengah, serta sudut normal dari panel.....	45
4.3.	Penentuan vortex pada tiap-tiap titik kontrol.....	46
4.4.	Penentuan kecepatan dan koefisien tekanan.....	49
4.5.	Penentuan daerah kavitasi berdasarkan sifat gelembung.....	51



**BAB V. ANALISA HASIL RUNNING PROGRAM**

5.1.	Distribusi tekanan.....	54
5.2.	Grafik pertumbuhan gelembung.....	56
5.3.	Penentuan panjang kavitasi.....	58
5.4.	Pengaruh sudut serang $\alpha$ terhadap kavitasi.....	59
5.5.	Pengaruh tekanan $P_o$ terhadap kavitasi.....	61
5.6.	Pengaruh kecepatan $V$ terhadap kavitasi.....	62
5.7.	Kesimpulan.....	64

**DAFTAR PUSTAKA****LAMPIRAN**

### **DAFTAR TABEL**

<b>Tabel 5.1</b>	<b>Hubungan sudut serang <math>\alpha</math> dan panjang kavitasi</b>
<b>Tabel 5.2</b>	<b>Hubungan Tekanan <math>P_o</math> dan panjang kavitasi</b>
<b>Tabel 5.3</b>	<b>Hubungan kecepatan <math>V</math> dan panjang kavitasi</b>

## **DAFTAR GRAFIK**

Grafik 5.1	Grafik distribusi tekanan pada penampang sayap
Grafik 5.2	Grafik Pertumbuhan gelembung
Grafik 5.3	Grafik mengempisnya gelembung
Grafik 5.4	Grafik hubungan sudut serang terhadap panjang kavitasi
Grafik 5.5	Grafik hubungan tekanan $P_o$ terhadap panjang kavitasi
Grafik 5.6	Grafik hubungan kecepatan $V$ terhadap panjang kavitasi

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Pemetaan Conformal
Gambar 2.2	Transformasi penampang sayap simetris
Gambar 2.3.	Titik Z dalam bidang kompleks
Gambar 2.4	Proyeksi Z terhadap sumbu X
Gambar 2.5	Geometris penampang sayap
Gambar 2.6	Vektor W pada elemen ds
Gambar 2.7	Jaringan aliran seragam
Gambar 2.8	Jaringan aliran sorce
Gambar 2.9	Aliran Vortex
Gambar 2.10	Straight Vortex filament
Gambar 2.11	Vortex sheet
Gambar 2.12	Vortex sheet dalam dua dimensi
Gambar 2.13	Lompatan kecepatan tangensial melintasi vortex sheet
Gambar 2.14	Distribusi vortex pada penampang sayap
Gambar 2.15	Penempatan panel pada penampang sayap
Gambar 2.16	Vektor kecepatan tangensial $V_t$
Gambar 2.17	Pengaruh vortex panel g terhadap panel ke m



Gambar 2.18	Pengaruh aliran seragam pada m
Gambar 3.1	Penampang sayap pada aliran fluida
Gambar 3.2	Keseimbangan Nuclei dalam celah material Hydropobic dan Hydropilic
Gambar 3.3	Proses terjadinya insepasi kavitasi pada wall dan stream nuclei
Gambar 4.1	Koordinat lingkaran $\theta_1$ dan $\theta_2$
Gambar 4.2	Pembentukan penampang sayap
Gambar 4.3	Data komponen panel
Gambar 4.4	Pengaruh panel ke g terhadap panel ke m
Gambar 4.5	Panel yang bersebrangan
Gambar 4.6	Aliran pada trailing edge
Gambar 4.7	Kecepatan tangensial yang dihasilkan vortex
Gambar 5.1	Plot penampang sayap
Gambar 5.2	Cord length dan cavity length dari trailing edge
Gambar 5.3	Perkembangan gelembung kavitasi

## DAFTAR NOTASI

$a$	Percepatan
$\alpha$	Sudut serang ( <i>angle of attack</i> )
$\beta_{t_m}, \beta_{n_m}$	Sudut yang dibentuk oleh panel terhadap arah tangensial dan normal
$CP$	Koefisien tekanan
$df$	Turunan terhadap waktu
$dt, dn$	Turunan terhadap arah tangensial dan normal
$\delta\zeta(\delta\xi, \delta\eta)$	Koordinat geser lingkaran
$e$	exponensial
$h, f, a, g, m, s$	Indeks konstanta
$P_\infty$	Tekanan pada aliran bebas
$P_o$	Tekanan statis
$P_g$	Tekanan partial gas dalam <i>cavity</i>
$P_v$	Tekanan uap
$P_i$	Tekanan pada titik kontrol
$p$	Tekanan lokal
$q$	Tekanan stagnasi aliran
$R$	Jari-jari lingkaran
$r, z, \theta$	Koordinat polar
$r_{gm}$	Jarak titik kontrol panel $g$ terhadap panel ke $m$
$\rho$	<i>Density</i>
$\nabla$	Operator Laplace
$\Delta$	Selisih, pertambahan kecil yang berhingga

$\mu$	Viskositas
$\omega$	Vortisitas
$\phi$	Potensial kecepatan
$\psi$	<i>Stream function</i>
$\Gamma$	Sirkulasi
$s, ds$	Panjang panel
$\zeta(\xi, \eta)$	Koordinat penampang sayap
$\gamma(s)$	Kekuatan vortex pada panel ke $s$
$\Delta p$	Perubahan tekanan
$\sigma$	Angka kavitasi
$u, v, w$	Komponen kecepatan aliran searah sumbu $x, y$ , dan $z$
$V_\infty$	Kecepatan aliran bebas
$V_{t\infty, m}$	Kecepatan tangensial pada panel ke $m$ akibat pengaruh aliran bebas
$V_{t, mg}$	Kecepatan tangensial pada panel ke $m$ akibat pengaruh kecepatan pada panel ke $g$
$x, y, z$	Koordinat kartesius
$Z_m, cz_m$	Titik batas antar panel, titik tengah panel
$z(x, y)$	Koordinat lingkaran



# **BAB I**



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Kavitasi adalah suatu fenomena hidrodinamika yang ditandai timbulnya gelembung-belembung air tekanan tinggi pada bidang yang mempunyai tekanan yang mendekati titik didihnya. Kavitasi dapat menyebabkan kinerja dari baling-baling tidak maksimal, misalnya berkurangnya daya dorong, timbulnya getaran, bunyi dan erosi pada baling-baling.

Dalam rekayasa umumnya kavitasi didefinisikan sebagai proses pembentukan fase uap dari suatu cairan ketika cairan tersebut mengalami pengurangan tekanan pada suhu sekeliling yang tetap. Secara umum suatu cairan dikatakan mengalami kavitasi jika didalam cairan tersebut terlihat adanya gelembung yang terbentuk akibat dari penurunan tekanan. Timbulnya kavitasi yang mempunyai tekanan sebesar sekitar tekanan uap tersebut dimulai dari sejumlah gelembung kecil yang mengandung gas permanen atau uap cairan yang bersangkutan, yang kemudian tumbuh dengan cepat tergantung pada penguapan cairan itu sendiri.

Terowongan kavitasi adalah salah satu alat untuk menyelidiki fenomena kavitasi dengan percobaan model, dan hal ini membutuhkan peralatan dan model yang baik, serta pengujian yang cukup rumit.

Cara lain dalam hal menganalisa terjadinya kavitasi adalah dengan menggunakan metode numerik. Dengan metode ini analisa tentang terjadinya kavitasi dapat dilakukan dengan cepat dan efisien serta dengan biaya yang relatif murah.

Dengan dasar pemikiran inilah tentunya studi tentang dinamika gelembung untuk pemodelan kavitasi sangat perlu untuk dilakukan, untuk membantu dalam suatu analisa kavitasi.

## 1.2. Tujuan dan Manfaat Penulisan

Sebagaimana disebutkan sebelumnya bahwa terjadinya kavitasi ditandai dengan terbentuknya gelembung-gelembung akibat turunnya tekanan pada punggung dari sebuah penampang sayap.

Dengan perantaraan sifat-sifat dinamika gelembung, pendekatan penyelidikan beberapa sifat kavitasi akan dilakukan yaitu terutama tentang dimana kavitasi itu mulai timbul, dan dimana gelembung-gelembung kavitasi itu mulai lenyap. Dengan cara ini luasan daerah kavitasi dari sebuah penampang sayap dapat ditentukan.

Dengan diketahuinya daerah kavitasi pada sebuah penampang sayap, maka pengaruh-pengaruh dari kavitasi tersebut terhadap kinerja penampang sayap dapat dianalisa.

Analisa yang akan dilakukan pada pemodelan kavitasi kali ini akan menggunakan metode numerik, sehingga analisa dapat dilakukan dengan cepat, murah dan cukup akurat.

### 1.3. Batasan Masalah

Sesuai dengan judul pada tugas akhir ini, titik berat pembahasan akan berkisar pada teori dinamika gelembung dan aliran disekitar sebuah foil dengan batasan-batasan sebagai berikut ;

- Peninjauan dilakukan pada foil 2 dimensi.
- Perhitungan berdasarkan matematis teoritis, bukan empiris.
- Untuk aliran disekitar penampang sayap, digunakan asumsi bahwa fluida bersifat, tak mampat ( *Incompressible* ), tidak berkekentalan ( *Inviscid* ), tak berotasi ( *Irrotational* ), dan aliran 2 dimensi.
- Pada permukaan body ( *body surface* ) total kecepatan tangensial sama dengan nol.
- Penentuan daerah kavitasi berdasarkan saat gelembung muncul dan saat gelembung lenyap.



#### 1.4. Metodologi penulisan

Pada penulisan tugas akhir ini, penulis melakukan studi terhadap permasalahan seperti tersebut diatas dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- Melakukan studi literatur dengan maksud agar mendapatkan pengertian yang lebih mendalam terhadap permasalahan yang dibahas.
- Memodelkan permasalahan dan menurunkan formula, sedemikian sehingga dapat diterapkan dalam perhitungan numerik dengan bantuan komputer.
- Melakukan percobaan terhadap suatu model kasus yang tepat, untuk mengetahui validitas perhitungan
- Melakukan beberapa percobaan terhadap beberapa parameter sebuah foil dalam hubungannya dengan kavitasi





## **BAB II**

## BAB II

### DASAR TEORI

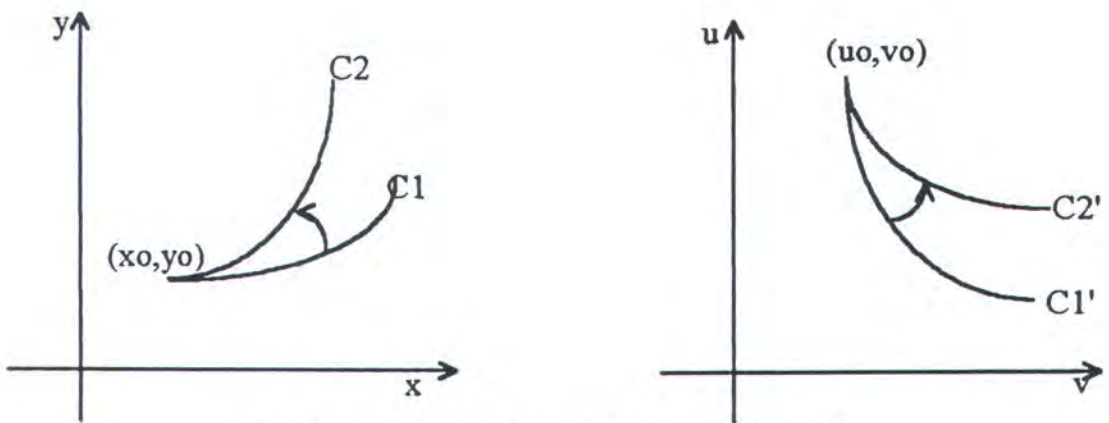
#### 2.1. Transformasi atau pemetaan

$$\begin{aligned} \text{Himpunan persamaan} \quad u &= u(x,y) \\ v &= v(x,y) \end{aligned} \tag{2.1}$$

Secara umum mendefinisikan suatu transformasi atau pemetaan yang mengaitkan titik-titik didalam bidang  $xy$  dan didalam bidang  $uv$ . Persaman (2.1) dinamakan persamaan transformasi. Jika pada setiap titik dibidang  $uv$  terdapat kaitan dengan satu dan hanya satu titik di bidang  $xy$  dan sebaliknya, maka kita mengatakannya sebagai transformasi atau pemetaan satu ke satu. Dalam kasus ini suatu himpunan titik didalam bidang  $xy$  [ seperti kurva atau daerah ] dipetakan kedalam suatu himpunan titik didalam bidang  $uv$  [ kurva atau daerah ] dan sebaliknya. Pengkaitan himpunan titik dalam dua bidang seringkali dinamakan bayangan terhadap setiap yang lainnya.

### 2.1.1 Pemetaan Conformal

Andaikan dibawah transformasi (2.1) titik  $(x_0, y_0)$  dibidang  $xy$  dipetakan kedalam titik  $(u_0, v_0)$  dibidang  $uv$  [gambar 2.1 dan 2.2] sedangkan kurva  $C_1$  dan  $C_2$  [berpotongan di  $(x_0, y_0)$ ] dipetakan berturut-turut ke dalam kurva  $C_1'$  dan  $C_2'$  [berpotongan di  $(u_0, v_0)$ ]. Kemudian jika transformasi tersebut bersifat bahwa sudut di  $(x_0, y_0)$  antara  $C_1$  dan  $C_2$  sama dengan sudut di  $(u_0, v_0)$  antara  $C_1'$  dan  $C_2'$  dalam besaran dan arahnya, maka transformasi atau pemetaan dikatakan konformal di  $(x_0, y_0)$ .



Gambar 2.1. Transformasi  $(x_0, y_0)$  ke  $(u_0, v_0)$

Jika  $f(z)$  analitik dan  $f'(z) \neq 0$  dalam suatu daerah  $R$ , maka pemetaan  $w = f(z)$  konformal di semua titik  $R$ .

Untuk pemetaan atau transformasi, gambar kecil di lingkungan suatu titik  $z_0$  dibidang  $z$  dipetakan kedalam gambar kecil yang sebangun dibidang  $w$  dan dibesarkan [ atau dikecilkan ] dengan sesuatu yang hampirannya diberikan oleh  $|f'(z_0)|^2$ , yang dinamakan faktor pembesaran luas atau disingkat faktor pembesaran. Jarak pendek dilingkungan  $z$  dalam lingkungan  $z_0$  dibesarkan [atau dikecilkan]

dibidang  $w$  dengan suatu yang hampirannya diberikan oleh  $|f''(z_0)|$ , yang dinamakan faktor pembesaran linier.

### 2.1.2. Transformasi Joukowski

Salah satu contoh transformasi konformal yang dipakai dalam membuat penampang sayap dikenal dengan transformasi joukowski.

Transformasi ini didefinisikan dengan persamaan :

$$z = \zeta + \frac{a^2}{\zeta} \quad (2.2)$$

atau secara umum dapat ditulis :

$$z = \zeta + \sum \frac{am^2}{\zeta}$$

Penerapan rumus (2.2) pada kurva  $|\zeta| = R$ , yaitu lingkaran berjari-jari dengan titik pusat berada di titik asal sistim koordinat di bidang  $\zeta$  akan memberikan hasil sebagai berikut ;

$$z = Re^{i\theta} + \left(\frac{a^2}{R}\right)e^{-i\theta} \quad (2.3)$$

atau ;

$$z = (\xi + i\eta) + \frac{a^2}{\xi + i\eta} \quad (2.4)$$

dimana ;

$$\zeta = Re^{i\theta} = \xi + i\eta$$

$$z = x + iy$$

Persamaan (2.4) dapat dikembangkan menjadi :

$$x + iy = (\xi + i\eta) + \left(\frac{a^2}{R^2}\right)(\xi - i\eta)$$

atau ;



$$x = \xi \left(1 + \frac{a^2}{R^2}\right) \quad \text{dan} \quad y = \left(1 - \frac{a^2}{R^2}\right) \quad (2.5)$$

Persamaan (2.5) menunjukkan bahwa lingkaran dibidang  $z$  dengan jari jari  $R = a$  akan dipetakan menjadi sepotong garis lurus dengan panjang  $4a$ , yaitu ;

$$\begin{aligned} x &= 2x \quad \text{untuk} \quad -a \leq \xi \leq a \\ y &= 0 \end{aligned}$$

Lingkaran dengan jari-jari yang lebih besar dari  $a$ , yaitu  $R > a$ , akan dipetakan menjadi elips sebagai berikut ;

$$\left[ \frac{x}{1+k} \right]^2 + \left[ \frac{x}{1-k} \right]^2 = R^2 \quad (2.6)$$

dimana ;

$$k = \frac{a}{R^2} < 1$$

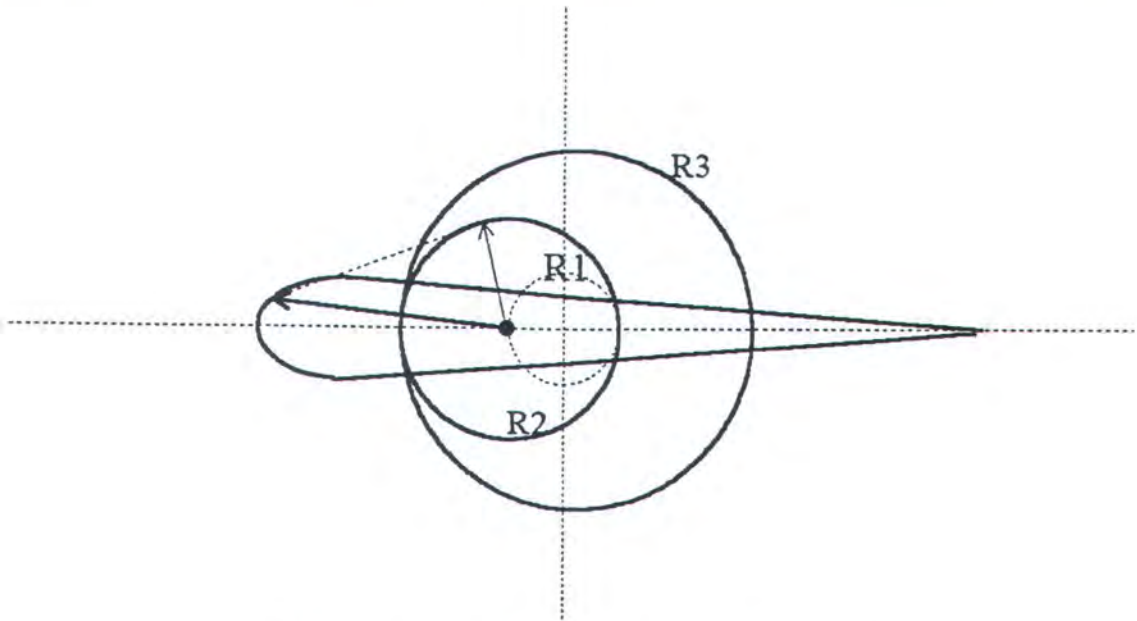
Dua lingkaran dibidang  $z$  yaitu  $|\zeta| = R_1$  dan  $|\zeta| = R_2$  , dimana  $R_1 = a$  dan

$$R_2 = (1 + 2\delta)a.$$

Dengan  $d$  adalah suatu bilangan positif kecil  $0 < d < 1$ , akan dipetakan menjadi sebuah garis lurus dan sebuah elips tipis.

Jika diberikan lingkaran  $|\zeta| = R_3$  dengan  $R_3 = (1 + \delta)a$  . Dengan membuat lingkaran ini menyinggung lingkaran  $|\zeta| = R_2$  diujung kiri dan menyinggung lingkaran  $|\zeta| = R_1$  diujung sebelah kanan .

Hal ni berarti bahwa lingkaran  $R_3$  , dipetakan menjadi sebuah bentuk dengan ujung sebelah kiri tumpul seperti elips hasil pemetaan  $R_2$  dan ujung kanan runcing sebagai hasil pemetaan dari  $R_1$ . dengan kata lain lingkaran dipetakan menjadi sebuah foil simetris.



Gambar 2.2 Penampang sayap Simetris

## 2.2. Bilangan kompleks

Dalam Tugas akhir ini bilangan komlek sangat penting peranannya dalam membantu melakukan perhitungan.

Bilangan kompleks  $z$  dapat dinyatakan sebagai pasangan  $(x,y)$  dari bilangan  $x$  dan  $y$ , dan dapat ditulis sebagai  $z=(x,y)$ . Penulisan lain dari bilangan kompleks  $z$ , dapat berbentuk ;

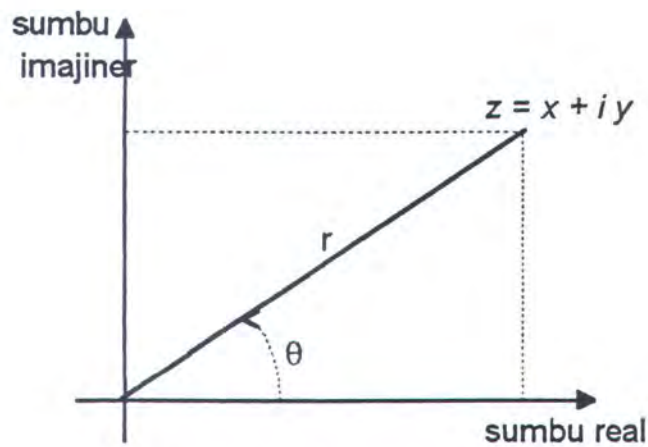
$$z = x + i y \quad (2.7)$$

Dimana  $x$  adalah bagian real dan  $y$  sebagai bilangan imajiner dari bilangan kompleks  $z$ . Dan biasanya ditulis sebagai berikut ;

$$\text{Re}(z) = x \text{ dan } \text{Im}(z) = y$$

$i$  dinamakan satuan imajiner dan mempunyai sifat  $i^2 = -1$ .

Bilangan kompleks  $z = x + i y$  dapat digambarkan sebagai titik dalam bidang kompleks. Bidang kompleks yang dimaksud mempunyai 2 sumbu koordinat yang saling tegak lurus, dimana sumbu horisontal dinamakan sumbu real dan sumbu vertikal dinamakan sumbu imajiner.



Gambar 2.3 Titik  $z$  dalam bidang kompleks

Bilangan kompleks  $z = x + i y$  dapat pula ditulis dalam bentuk polar, yaitu :

$$\begin{aligned} z &= r \cos \theta + i r \sin \theta \\ &= r (\cos \theta + i \sin \theta) \end{aligned} \quad (2.8)$$

dimana :

$$x = r \cos \theta$$

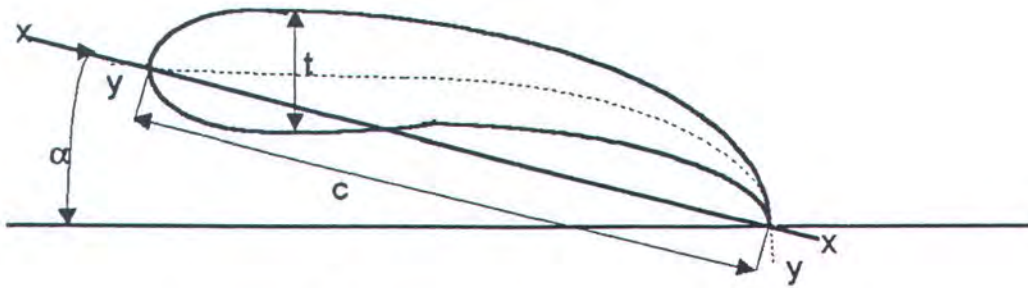
$$y = r \sin \theta$$

atau rumus (2.8) dapat ditulis dalam bentuk :

$$z = r.e^{i\theta} \quad (2.9)$$

dimana :

$$e^{i\theta} = \cos \theta + i \sin \theta$$



Gambar 2.5. Geometris penampang sayap

#### 2.4. Aliran fluida di sekitar penampang sayap

Ada 3 hukum dasar yang harus dipatuhi oleh partikel fluida yang bergerak , yaitu hukum-hukum kekekalan. Diantaranya yaitu hukum kekekalan massa, hukum kekekalan momentum dan hukum kekekalan energi.

Secara umum persamaan pergerakan fluida yang bersifat viscous dan tak mampat dikenal sebagai persamaan Navier-Stokes yang dapat dinyatakan dalam bentuk vektor dari 3 persamaan berikut :

- Persamaan Kontinuitas (Hukum kekekalan massa)

$$\frac{\delta \rho}{\delta t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0 \quad (2.13)$$

dimana :

$\rho$  = densiti fluida

$\vec{v}$  = kecepatan fluida



- Persamaan Momentum (Hukum kekekalan momentum)

$$\rho \frac{D\vec{v}}{Dt} = \rho \vec{f} - \nabla P - 2/3[\mu(\nabla \cdot \vec{v})] + [\nabla(2\mu \cdot \nabla)]\vec{v} + \nabla_x [\mu \nabla_x \vec{v}] \quad (2.14)$$

dimana :

$$\frac{D}{Dt} = \frac{\delta}{\delta t} + (\vec{v} \cdot \nabla)$$

$\vec{f}$  = gaya badan (body force)

$P$  = tekanan

$\mu$  = viskositas

- Persamaan Energi

$$\rho \frac{dQ}{dt} + \phi_{\text{visc}} = \rho \frac{Dh}{Dt} - \frac{DP}{Dt} \quad (2.15)$$

dimana :

$Q$  = energi panas

$\phi$  = potensial kecepatan

$h$  = jarak perpindahan

Persamaan diatas adalah model fisis pergerakan fluida yang dikenal sebagai persamaan Navier-Stokes. Sistim persamaan ini sangat tidak linier, sehingga terlalu sulit untuk diselesaikan. Oleh sebab itu perlu dilakukan pembatasan pembatasan sebagai berikut ;

- Fluida mempunyai keternampatan sangat kecil

Dalam hal ini berarti densitasnya boleh dianggap tidak mengalami perubahan, sehingga persamaan (3.1) akan menjadi ;

$$\nabla \cdot \vec{v} = 0 \quad \text{atau}$$

$$\frac{\delta u}{\delta x} + \frac{\delta v}{\delta y} + \frac{\delta w}{\delta z} = 0 \quad (2.16)$$

-Fluida mempunyai viskositas yang sangat kecil ( $\mu \approx 0$ )

Dengan demikian persamaan momentum (2.8) akan menjadi sebagai berikut;

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = -\nabla P$$

jika masing-masing dalam kompone x, y da z akan menjadi;

$$\frac{\delta u}{\delta t} + u \frac{\delta u}{\delta x} + v \frac{\delta u}{\delta y} + w \frac{\delta u}{\delta z} = \frac{-1}{\rho} \frac{\delta P}{\delta x}$$

$$\frac{\delta v}{\delta t} + u \frac{\delta v}{\delta x} + v \frac{\delta v}{\delta y} + w \frac{\delta v}{\delta z} = \frac{-1}{\rho} \frac{\delta P}{\delta y}$$

$$\frac{\delta w}{\delta t} + u \frac{\delta w}{\delta x} + v \frac{\delta w}{\delta y} + w \frac{\delta w}{\delta z} = \frac{-1}{\rho} \frac{\delta P}{\delta z} \quad (2.17)$$

Persamaan (2.60) dan (2.71),adalah model matematis dari pergerakan fluida tak manpat dan tak viscous.

- Fluida tidak mengalami rotasi.

Ukuran kecepatan berputarnya fluida dinyatakan dengan vortisitas ( $\omega$ ) dimana ;

$$\vec{\omega} = \nabla \times \vec{V} \quad (2.18)$$

atau

$$\vec{\omega} = \begin{vmatrix} x & y & z \\ \frac{\delta}{\delta x} & \frac{\delta}{\delta y} & \frac{\delta}{\delta z} \\ u & v & w \end{vmatrix} = \omega_x \cdot x + \omega_y \cdot y + \omega_z \cdot z \quad (2.19)$$

dimana :

$$\omega_x = \frac{\delta w}{\delta y} - \frac{\delta v}{\delta z} \quad \omega_y = \frac{\delta u}{\delta z} - \frac{\delta w}{\delta x} \quad \omega_z = \frac{\delta v}{\delta x} - \frac{\delta u}{\delta y}$$

Karena yang ditinjau dalam hal ini adalah dua dimensi maka persamaan (2.19) akan menjadi ;

$$\omega = \omega_z = \left( \frac{\delta v}{\delta x} - \frac{\delta u}{\delta y} \right) z = 0$$

atau  $\frac{\delta v}{\delta x} - \frac{\delta u}{\delta y} = 0$  (2.20)

Selanjutnya untuk aliran dua dimensi persamaan (2.16) dan persamaan (2.17) akan menjadi ;

$$\frac{\delta u}{\delta x} + \frac{\delta v}{\delta y} = 0$$
 (2.21)

dan

$$\frac{\delta u}{\delta t} + u \frac{\delta u}{\delta x} + v \frac{\delta v}{\delta y} = \frac{-1}{\rho} \frac{\delta P}{\delta x}$$
 (2.22)

$$\frac{\delta v}{\delta t} + u \frac{\delta v}{\delta x} + v \frac{\delta v}{\delta y} = \frac{-1}{\rho} \frac{\delta P}{\delta y}$$
 (2.23)

Jika persamaan diatas diturunkan masing-masing terhadap sumbu y dan sumbu x, maka akan didapat ;

$$\frac{\delta^2 u}{\delta t \delta y} + u \frac{\delta^2 u}{\delta x \delta y} + \frac{\delta u}{\delta x} \frac{\delta u}{\delta y} + v \frac{\delta^2 u}{\delta y^2} + \frac{\delta u}{\delta y} \frac{\delta v}{\delta y} = \frac{-1}{\rho} \frac{\delta^2 P}{\delta x \delta y}$$
 (2.24)

$$\frac{\delta^2 v}{\delta t \delta x} + v \frac{\delta^2 v}{\delta x \delta y} + \frac{\delta v}{\delta x} \frac{\delta v}{\delta y} + u \frac{\delta^2 v}{\delta x^2} + \frac{\delta u}{\delta x} \frac{\delta v}{\delta x} = \frac{-1}{\rho} \frac{\delta^2 P}{\delta x \delta y}$$
 (2.25)

Selisih dari persamaan diatas adalah ;

$$\begin{aligned} & \frac{\delta}{\delta t} \left[ \frac{\delta v}{\delta x} - \frac{\delta u}{\delta y} \right] + u \frac{\delta}{\delta x} \left[ \frac{\delta v}{\delta x} - \frac{\delta u}{\delta y} \right] + \frac{\delta u}{\delta x} \left[ \frac{\delta v}{\delta x} - \frac{\delta u}{\delta y} \right] + v \frac{\delta}{\delta y} \left[ \frac{\delta v}{\delta x} - \frac{\delta u}{\delta y} \right] + \\ & \frac{\delta v}{\delta y} \left[ \frac{\delta v}{\delta x} - \frac{\delta u}{\delta y} \right] = 0 \end{aligned}$$
 (2.26)

Dari persamaan (2.20) diketahui bahwa  $\frac{\delta v}{\delta x} - \frac{\delta u}{\delta y} = 0$ , sehingga untuk aliran irrotational persamaan (2.26) dapat diabaikan.



Dari kenyataan diatas maka persamaan pergerakan fluida yang lebih dikenal dengan persamaan Navier stokes hanya akan menjadi persamaan (2.20) dan (2.21).

Selanjutnya dilakukan langkah-langkah untuk mendapatkan harga komponen kecepatan  $u$  dan  $v$ .

Solusi umum persamaan(2.20) dikenal dengan nama *Potensial Velocity Function* dengan sifat sebagai berikut ;

$$u = \frac{\delta\phi}{\delta x} \quad v = \frac{\delta\phi}{\delta y} \quad (2.27)$$

Substitusi persamaan diatas terhadap (2.21) maka didapat ;

$$\frac{\delta^2\phi}{\delta x^2} + \frac{\delta^2\phi}{\delta y^2} = \nabla^2\phi = 0 \quad (2.28)$$

Yaitu persamaan Laplace dengan variabel  $\phi$ .

Solusi umum untuk persamaan (2.21), adalah fungsi skalar  $\psi(x,y)$  dan dikenal dengan nama *Stream function* (fungsi arus) dan mempunyai sifat ;

$$u = \frac{\delta\psi}{\delta y} \quad v = \frac{\delta\psi}{\delta x} \quad (2.29)$$

Substitusi persamaan diatas terhadap (2.20) akan mendapatkan ;

$$\frac{\delta^2\psi}{\delta x^2} + \frac{\delta^2\psi}{\delta y^2} = \nabla^2\psi = 0 \quad (2.30)$$

Yaitu persamaan Laplace dengan variabel  $\psi$ .

Dari persamaan (2.27) dan (2.29) didapatkan hubungan sebagai berikut;

$$\frac{\delta\phi}{\delta x} = \frac{\delta\psi}{\delta y} \quad \frac{\delta\phi}{\delta y} = -\frac{\delta\psi}{\delta x} \quad (2.31)$$

Pada permukaan Body dinyatakan bahwa tangensial potensial kecepatan sama dengan kecepatan tangensial batas permukaan body.

$$\frac{d\phi}{dt} = V_{\infty} \cdot t \quad (2.32)$$

dimana  $V_{\infty}$  adalah kecepatan dari pergerakan benda, dan jika bendanya diam dan fluidanya yang bergerak maka  $V=0$ , jadi persamaan diatas dapat ditulis ;

$$\frac{d\phi}{dt} = 0 \quad (2.33)$$

Sehingga aliran yang melalui penampang sayap adalah *stream line* atau  $\psi$  konstan.

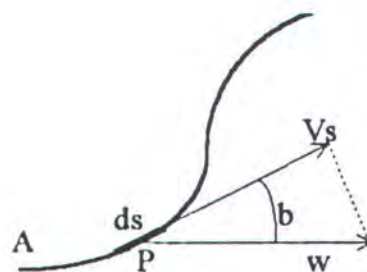
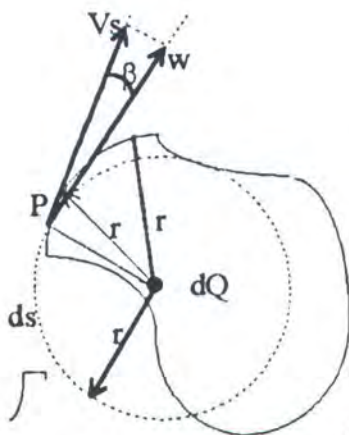
Dari kondisi Cauchy-Rieman (2.31), maka komponen kecepatan pada penampang sayap akan didapat ;

$$u = \frac{d\phi}{dx} = \frac{d\psi}{dy} \quad v = \frac{d\phi}{dy} = -\frac{d\psi}{dx} \quad (2.34)$$

## 2.5. Teori Sirkulasi

Sirkulasi atau *circulation* yang biasanya diberi tanda  $\Gamma$ , adalah integral garis (*line integral*) yang menunjukkan integrasi hasil perkalian antara elemen jalan yang ditempuh/dilalui dengan komponen kecepatan  $V_s$  pada arah jalan yang dilaluinya tadi, disebuah daerah aliran sepanjang garis lengkung yang tertutup pada suatu saat tertentu ,Jadi :

$$\Gamma = \oint V_s \cdot ds \quad (2.35)$$



Gambar 2.6 Vektor w pada elemen ds



Pada gambar (2.6) ini dapatlah dilihat bahwa :

Pada elemen dengan panjang elemen  $ds$ , dimana dititik  $P$  bekerja sebuah vektor  $w$  , maka harga line integral dari titik A ke B adalah ;

$$\int V_s.ds = \int w. \cos \beta.ds \quad (2.36)$$

Untuk sebuah daerah sepanjang garis tertutup, maka ;

$$\oint w. \cos \beta.ds = \oint V_s.ds = \Gamma \quad (\text{Sirkulasi}) \quad (2.37)$$

Jadi sirkulasi didefinisikan sebagai integral garis melalui kurva tertutup pada arah yang mengikuti arah jarum jam dari komponen singgung lintasan dikalikan dengan panjang busurnya.

Besarnya sirkulasi pada kurva tertutup akan selalu konstan pada setiap titik.

$$\oint V_s.ds = \text{Konstan} \quad (2.38)$$

## 2.6. Aliran dasar elementer

Beberapa masalah aliran potensial yang penting dapat dibangun dari tiga jenis penyelesaian elementer, yaitu ;

- Aliran Seragam
- *Sorce* dan *sink*
- Vorteks

Fungsi-fungsi potensial aliran untuk ketiga kasus diatas dapat digabungkan untuk memperoleh hasil yang berguna. Untuk itu kita mengandalkan asas superposisi, yang berlaku karena persamaan Laplace adalah linier. Ini berarti bahwa

jika  $\phi_1$  dan  $\phi_2$  masing-masing adalah penyelesaian persamaan Laplace maka jumlahnya juga merupakan suatu penyelesaian. Jika ;

$$\nabla^2 \phi_1 = 0 \text{ dan } \nabla^2 \phi_2 = 0$$

maka ;

$$\nabla^2(\phi_1 + \phi_2) = 0 \tag{2.39}$$

2.6.1. Aliran Seragam

Suatu aliran dengan kecepatan konstan  $U_\infty$  mempunyai turunan-ruang nol dan karenanya memenuhi kontinuitas dan ketidakberotasiannya di setiap titiknya. Pertama misalkan alirannya pada arah sumbu x, dan kita cari fungsi-fungsi  $\phi$  dan  $\psi$  nya maka ;

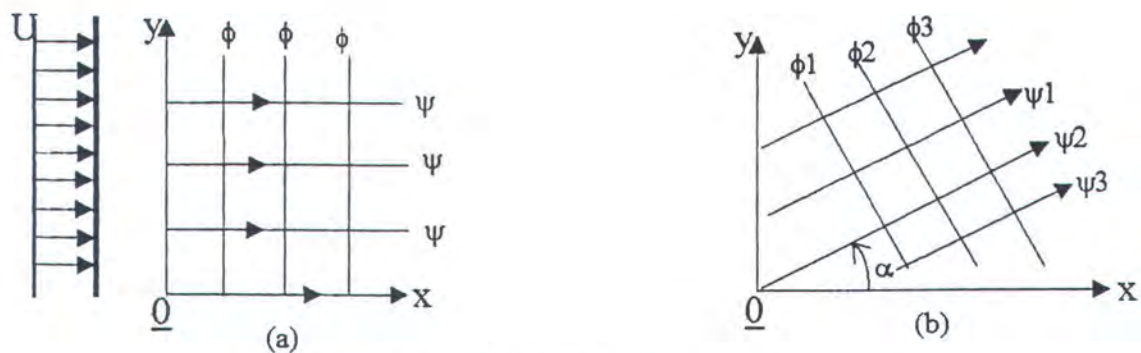
$$\begin{aligned} u = U_\infty &= \frac{\delta \psi}{\delta y} = \frac{\delta \phi}{\delta x} \\ v = 0 &= -\frac{\delta \psi}{\delta x} = \frac{\delta \phi}{\delta y} \end{aligned} \tag{2.40}$$

apabila diintegrasikan kita akan memperoleh ;

$$\psi = U_\infty y + C_1 \qquad \phi = U_\infty x + C_2 \tag{2.41}$$

$C_1$  dan  $C_2$  tidak mempengaruhi kecepatan atau tekanan dalam aliran. Secara konsisten kita akan mengabaikan konstanta-konstanta yang tidak relevan, dan untuk aliran seragam pada arah sumbu x kita akan peroleh ;

$$\psi = U_\infty y \qquad \phi = U_\infty x \tag{2.42}$$



Gambar 2.7. Jaringan aliran seragam

Grafik-grafik fungsi diatas gambar (2.6.a), terdiri atas anyaman persegi garis-garis alir yang lurus dan tegak lurus terhadap garis-garis potensial.

Apabila dinyatakan dalam koordinat kutup datar ( r, q) persamaan (2.42) menjadi

$$\psi = U_{\infty} \cdot r \cdot \sin \theta \qquad \phi = U_{\infty} \cdot r \cdot \cos \theta \qquad (2.43)$$

Kalau kita generalisasikan ke aliran yang arahnya membentuk sudut  $\alpha$  dengan sumbu x, seperti gambar (2.6.b), kita persyaratkan bahwa ;

$$u = U_{\infty} \cdot \cos \alpha = \frac{\delta \psi}{\delta y} = \frac{\delta \phi}{\delta x}$$

$$v = U_{\infty} \cdot \sin \alpha = -\frac{\delta \psi}{\delta x} = \frac{\delta \phi}{\delta y} \qquad (2.44)$$

Dengan pengintegralan kita akan mendapatkan suatu aliran seragam dengan sudut  $\alpha$  .

$$\psi = U_{\infty} (y \cdot \cos \alpha - x \cdot \sin \alpha)$$

$$\phi = U_{\infty} (x \cdot \cos \alpha + y \cdot \sin \alpha) \qquad (2.45)$$

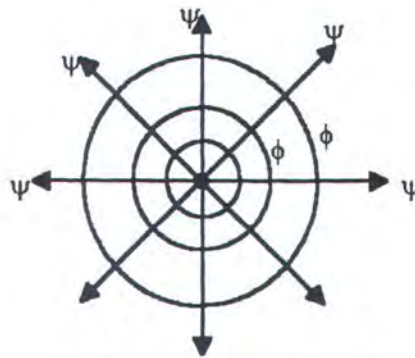
atau dalam bentuk complex dapat ditulis ;

$$\phi = U_{\infty} \cdot e^{-i\epsilon} \qquad (2.46)$$



### 2.6.2. Sorce dan Sink

Misalkan sumbu  $z$  adalah suatu pipa berlubang banyak, dan melalui lubang-lubang itu suatu fluida mengalir keluar dengan laju konstan sepanjang sumbu tersebut. Kalau kita lihat dari arah pangkal sumbu  $z$ , polanya akan tampak sebagai aliran radial silindris.



Gambar 2.8. Jaringan aliran sorce

Dalam aliran yang tunak, banyaknya fluida yang keluar melalui sebarang permukaan silinder yang jari-jarinya  $r$  dan panjangnya  $b$  adalah konstan, yaitu;

$$Q = v_r(2\pi r b) = \text{konst} = 2\pi b m \quad (2.47)$$

atau

$$v_{r, \text{sumber}} = \frac{m}{2\pi r}$$

$m$  adalah suatu konstanta, pipa berlubang itu dinamakan *source* jika harga  $m$  positif dan *sink* jika harga  $m$  negatif., dimana kecepatan singgungnya adalah nol. Kita dapat mencari penyelesaian untuk koordinat kutup  $\psi$  dan  $\phi$ .

$$v_r = \frac{m}{r} = \frac{1}{r} \frac{\delta \psi}{\delta \theta} = \frac{\delta \phi}{\delta r} \quad v_\theta = 0 = -\frac{\delta \psi}{\delta r} = \frac{1}{r} \frac{\delta \phi}{\delta \theta} \quad (2.48)$$

Dengan pengintegralan kita akan mendapatkan ;

$$\psi = m\theta \quad \phi = m \ln r \quad (2.49)$$

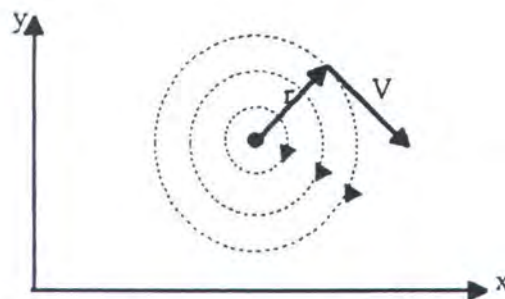
seperti pada gambar 2.7 Jika dalam bentuk koordinat kartesian ;

$$\psi = m. \tan^{-1} \frac{y}{x} \qquad \phi = m. \ln(x^2 + y^2)^{1/2} \qquad (2.50)$$

### 2.6.3. Aliran Vortex

Sebuah aliran vortex memiliki bentuk seperti yang terlihat pada gambar dibawah ini, mempunyai pola aliran yang berputar melingkar dengan kecepatan singgung yang menurun menurut  $1/r$ .

Kecepatan ini dinamakan kecepatan arah tangensial dengan kekuatan sebesar  $\gamma$ , dan kompen arah radialnya samadengan nol.



Gambar 2.9. Aliran Vortex

Secara matematis dapat ditulis ;

$$V_\theta = \gamma/r \qquad \text{dan} \qquad V_r = 0 \qquad (2.51)$$

$$V_r = \frac{1}{r} \frac{d\psi}{d\theta} = \frac{d\theta}{dr} = 0 \qquad (2.52)$$

$$V_\theta = -\frac{d\psi}{dr} = \frac{1}{r} \frac{d\phi}{d\theta} = \frac{\gamma}{r} \qquad (2.53)$$



Jika persamaan diatas (2.53), diintegalkan akan didapatkan persamaan kecepatan potensial sebagai berikut ;

$$\phi = \gamma.\theta \quad (2.54)$$

Dengan memakai teori sirkulasi maka besarnya kekuatan vortex dapat ditentukan dengan cara sebagai berikut ;

$$\Gamma = \oint_0^{2\pi} V\theta.ds = \oint_0^{2\pi} \frac{\gamma}{r}.r.d\theta = 2\pi\gamma \quad (2.55)$$

$$\text{maka ; } \gamma = \Gamma/2\pi$$

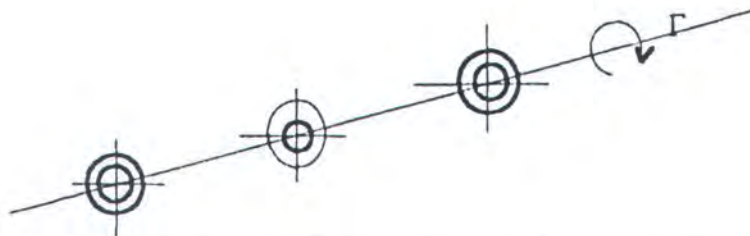
dari persamaan (2.53), maka dapat diperoleh besarnya potensial kecepatan dan kecepatan potensial.

$$\phi = \frac{\Gamma}{2\pi}\theta \quad (2.56)$$

$$V\theta = \frac{\Gamma}{2\pi r} \quad (2.57)$$

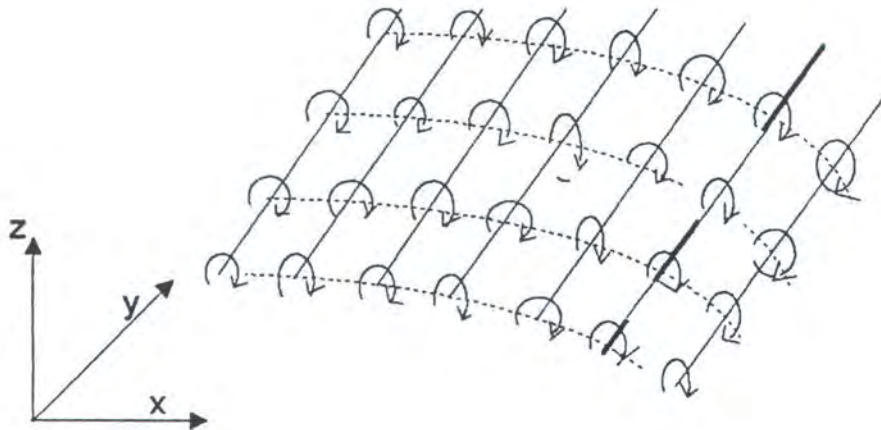
## 2.7. Vortex sheet

Sebuah garis lurus yang melalui titik o (masing-masing vortex), dengan panjang tak berhingga dinamakan *straight vortex filament* dengan kekuatan sebesar  $\Gamma$  seperti gambar dibawah ini.



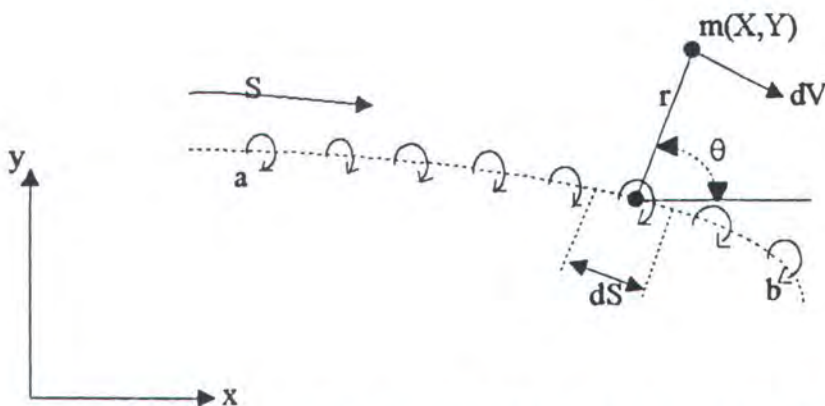
Gambar 2.10. Straight vortex filament

Jika straight vortex filament ini jumlahnya tak berhingga dan saling berdampingan, maka akan terbentuk *Vortex sheet* seperti gambar dibawah ini.



Gambar 2.11. Vortex Sheet

Dan jika dipandang secara dua dimensi maka *vortex sheet* akan tampak sebagai berikut;



Gambar 2.12.Vortex sheet dalam 2 dimensi

$dS$  diambil sebuah jarak dari bagian terkecil, maka kekuatan dari bagian yang sangat kecil  $dS$ , dari *vortex sheet* adalah  $\gamma(S)$ . Jika sebuah titik  $m$  diletakkan sejauh  $r$  dari  $dS$

maka bagian kecil dari *vortex sheet* akan menyebabkan kecepatan yang sangat kecil  $dV$  pada titik  $m$ . Hal ini identik dengan kecepatan tangensial seperti pada persamaan (2.16), sehingga didapat ;

$$dV = \frac{\gamma(S).dS}{2\pi r} \quad (2.58)$$

Kecepatan di titik  $m$  memiliki arah yang berubah-ubah yang disebabkan oleh seluruh vortex dari  $a$  ke  $b$ . Oleh karena itu incremen kecepatan yang terjadi di titik  $m$  harus ditambahkan secara vektorial. Karena itu lebih sesuai jika memperlakukan potensial kecepatan pada titik tersebut.

Dari persamaan (2.56) dan persamaan (2.58), besar incremen potensial  $d\phi$ , yang disebabkan oleh elemen vortex  $\gamma(S) dS$  adalah ;

$$d\phi = \frac{-\gamma(S)}{2\pi r} \cdot \theta \quad (2.59)$$

Jika persamaan diatas diintegalkan maka merupakan potensial kecepatan di titik  $m$ , yaitu;

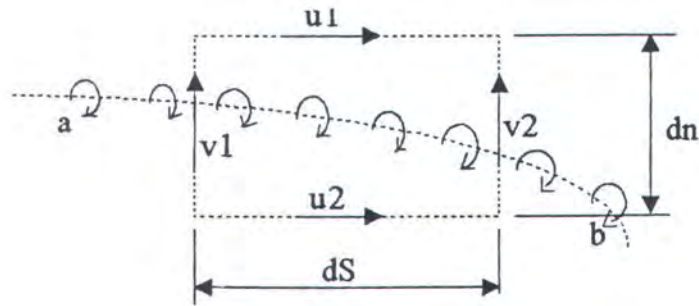
$$\phi = \int_a^b \frac{-\gamma(S)}{2\pi r} \theta \cdot dS \quad (2.60)$$

Sedangkan besarnya sirkulasi  $\Gamma$  di sekitar titik vortex sama dengan kekuatan  $\gamma(S)dS$ , vortex itu sendiri. Dengan demikian sirkulasi yang terjadi disekitar *vortex sheet* adalah merupakan jumlah dari seluruh kekuatan elemen vortex, yaitu ;

$$\Gamma = \int_a^b \gamma(S).dS \quad (2.61)$$

Karena vortex sheet mengalami perubahan diskontinuitas dalam komponen kecepatan tangensial yang melewati sheet, maka hubungan perubahan kecepatan tangensial saat melintasi *vortex sheet* dengan kekuatan vortex adalah sebagai berikut;





Gambar 2.13. Lompatan kecepatan tangensial yang melintasi vortex sheet

Dari difinisi sirkulasi yang diberikan, maka besarnya sirkulasi disekitar lintasan itu adalah ;

$$\Gamma = \int_a^b -(v_2 \cdot dn - u_1 \cdot dS - v_1 \cdot dn + u_2 \cdot dS)$$

atau

$$\Gamma = \int_a^b (u_1 - u_2) dS + (v_1 - v_2) dn \quad (2.62)$$

Sedangkan kekuatan *vortex sheet* yang ada didalam lintasan tersebut adalah  $\gamma(S) dS$ , maka besar sirkulasi dapat ditulis :

$$\Gamma = \int_a^b \gamma(S) \cdot dS \quad (2.63)$$

Dari persamaan (2.62) dan (2.63) akan didapat hubungan sebagai berikut ;

$$\begin{aligned} \int_a^b \gamma(S) dS &= \int_a^b (u_1 - u_2) dS + (v_1 - v_2) dn \\ \gamma(S) dS &= (u_1 - u_2) dS + (v_1 - v_2) dn \end{aligned} \quad (2.64)$$

Jika  $dn$  mendekati nol, maka bagian atas dan bagian bawah dari kecepatan tangensial akan mendekati *vortex sheet*. Dengan harga limit ini, maka  $u_1$  dan  $u_2$



menjadi komponen tangensial dari *vortex sheet*, maka persamaan (2.64) akan menjadi :

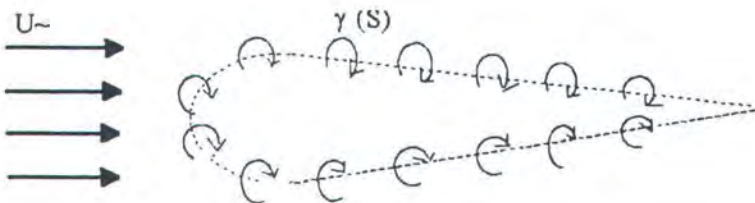
$$\gamma(S)dS = (u_1 - u_2)dS$$

$$\gamma(S) = (u_1 - u_2) \quad (2.65)$$

Persamaan ini menunjukkan bahwa lompatan dari kecepatan tangensial lokal yang melintasi *vortex sheet* , sama dengan kekuatan sheet lokal.

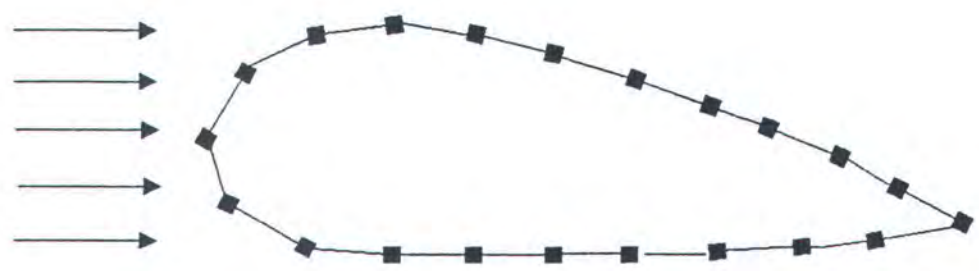
## 2.8. Metode Panel dua dimensi

Dasar pemikiran dari Metode panel dua dimensi adalah menutup permukaan body ( yang dalam hal ini adalah penampang sayap ) dengan beberapa panel yang telah ditentukan jumlahnya. Sebuah panel dapat dibangun dengan memakai prinsip hidrodinamika numerik, yang artinya suatu bentuk benda menarik akan muncul bila kita mengalirkan suatu aliran seragam melalui *source* atau *sink* atau vortex.



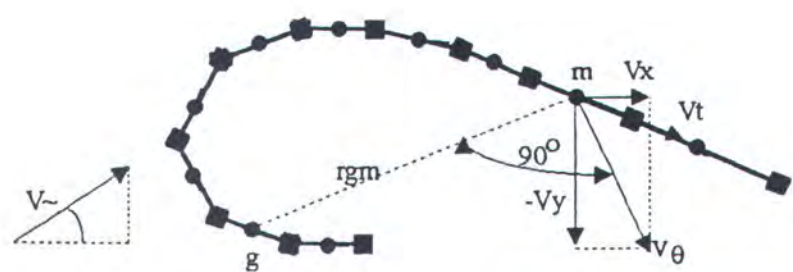
Gambar 2.14.Distribusi vortex pada penampang sayap

Apabila penampang sayap diatas dibentuk menjadi deretan panel-panel maka akan terlihat seperti gambar dibawah ini.



Gambar 2.15. Penempatan panel pada penampang sayap

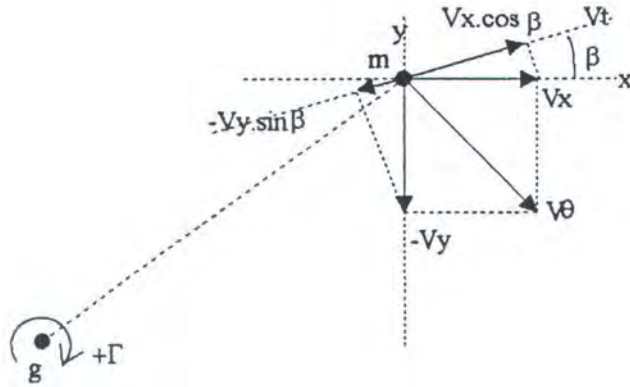
Aliran seragam dengan kecepatan ( $U_\infty$ ) dan pada permukaan body diletakkan ( $g$ ) buah titik kontrol dengan panjang panel ( $S_g$ ) yang berbeda dan panel yang berdekatan dihubungkan dengan *boundary points* pada permukaan body. *Control point* ( $X_i, Y_i$ ) atau titik dari resultan aliran adalah tangen dari permukaan panel, dimana letaknya dipilih ditengah-tengah panel.



Gambar 2.16. Vektor kecepatan tangensial,  $V_t$

Kekuatan vortex per unit panjang  $\gamma(S_g)$  adalah konstan sepanjang panel yang diberikan, tetapi berubah dari satu panel ke panel lainnya yaitu ;  $g(S1)$ ,  $g(S2)$ ,  $g(S3)$ , ..... $g(Sg)$

Jika kekuatan vortex ( $\gamma$ ) diketahui maka kecepatan tangensial ( $V_t$ ) dapat diketahui juga. Pengaruh vortex panel ke g terhadap panel m dapat digambarkan sebagai berikut ;



Gambar 2.17. Pengaruh vortex panel g terhadap panel ke m

$$V_t = V_x \cos \beta - (-V_y \sin \beta)$$

$$= V_x \cos \beta + V_y \sin \beta \quad (2.66)$$

$$V_q = V_x - iV_y \quad (2.67)$$

dan berdasarkan persamaan (2.56),  $V_\theta = \frac{-\gamma \cdot dS}{2\pi r}$

Hubungan antara  $V_t$  dan  $V_q$  dapat dilihat dari langkah-langkah berikut ;

Dari variabel kompleks yaitu  $e^{i\beta} = \cos \beta + i \sin \beta$  dan  $e^{-i\beta} = \cos \beta - i \sin \beta$

Dengan *trial and error* dicari harga  $V_t$  sebagai berikut ;

$$\begin{aligned} V_t &= (V_x - iV_y) (\cos \beta + i \sin \beta) \\ &= (V_x \cos \beta + V_y \sin \beta) - i(V_y \cos \beta - V_x \sin \beta) \end{aligned} \quad (2.68)$$

$$\begin{aligned} V_t &= (V_x - iV_y)(\cos \beta - i \sin \beta) \\ &= (V_x \cos \beta - V_y \sin \beta) - i(V_y \cos \beta + V_x \sin \beta) \end{aligned} \quad (2.69)$$



Dari persamaan (2.66) maka persamaan (2.68) merupakan harga yang tepat, untuk itu  $V_t$  dapat ditulis sebagai berikut ;

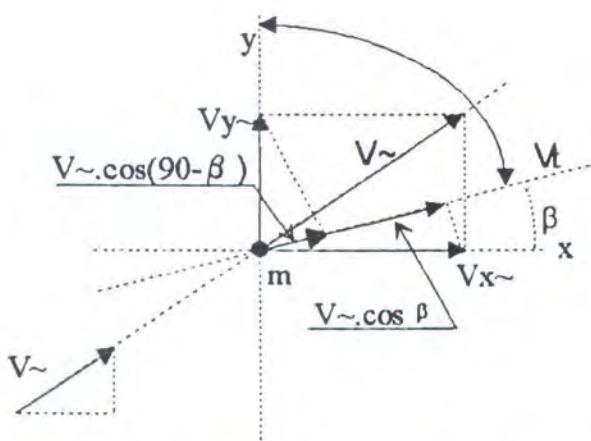
$$\begin{aligned} V_t &= \text{Re}[(V_x + iV_y).e^{i\beta}] \\ &= \text{Re}[V\theta.e^{i\beta}] \end{aligned} \tag{2.70}$$

Maka secara umum, kecepatan tangensial pada panel ke  $m$  yang diakibatkan oleh pengaruh vortex pada panel ke  $g$  , adalah ;

$$V_{t, \, mg} = \text{Re}\left[\frac{\gamma(g).e^{i\beta}.m.dS_g}{2.\pi.r_{gm}}\right] \tag{2.71}$$

Jika harga  $m = g$ , atau dengan kata lain pengaruh terhadap dirinya sendiri besar kecepatan normalnya adalah  $-1/2$ .

Kecepatan tangensial akibat pengaruh aliran seragam pada panel ke  $m$  dapat dicari dengan langkah-langkah sebagai berikut ;



Gambar 2.18.pengaruh aliran seragam pada panel ke  $m$

Identik dengan cara penyelesaian diatas kita punya ;

$$V_\infty = V_{x\infty} + iV_{y\infty}$$



### BAB III

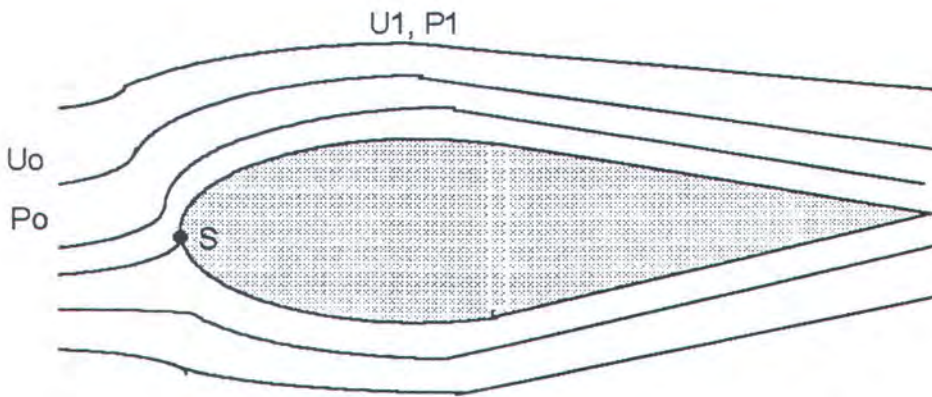
## TEORI DINAMIKA GELEMBUNG UNTUK KAVITASI

### 3.1.Kavitasi

Kavitasi pada umumnya didefinisikan sebagai proses pembentukan fase uap dari suatu cairan ketika cairan tersebut mengalami pengurangan tekanan pada suhu sekeliling (*ambient temperatur*) yang tetap. Secara umum suatu cairan dikatakan mengalami kavitasi jika didalam cairan tersebut terlihat adanya gelembung yang terbentuk akibat turunnya tekanan.

Untuk dapat memulai timbulnya kavitasi pada tekanan sebesar sekitar tekanan uap, diperlukan sejumlah gelembung kecil, yang disebut (*nuklei*) yang hanya dalam ukuran *submikroskopis*, yang mengandung gas permanen atau uap yang bersangkutan. Sebuah inti yang tumbuh dengan sangat cepat ( setelah mengalami ukuran kritisnya) mengandung zat yang sebagian besar adalah fase uap. Waktu berlangsungnya difusi adalah sangat singkat, sehingga memungkinkan terjadinya kenaikan volume gas.

Aliran kavitasi ini merupakan aliran dua fase yang terdiri dari cairan dan uap cairan, dan transisi fase tersebut ditimbulkan karena perubahan tekanan hidrodinamis.



Gambar 3.1. Penampang sayap pada aliran fluida

Pada aliran yang melewati penampang sayap, Bernoulli memberikan harga :

$$P + 1/2 \cdot \rho \cdot U_1^2 = P_0 + 1/2 \cdot \rho \cdot U_0^2 \quad (3.1)$$

Sehingga perubahan tekanan :

$$\begin{aligned} \Delta P &= P_1 - P_0 \\ &= 1/2 \cdot \rho (U_0^2 - U_1^2) \end{aligned} \quad (3.2)$$

Pada titik S aliran akan terbelah, fluida yang mengikuti garis aliran yang membelah tersebut akan diputar melalui 90° dan akan kehilangan kecepatan dan momentumnya dalam arah menurut gerakannya disepanjang daris aliran tersebut. Dengan demikian di titik S kecepatan  $U_1$  akan menjadi nol.

Sehingga :

$$\Delta P = 1/2 \cdot \rho \cdot (U_0^2 - U_1^2) = 1/2 \cdot \rho \cdot U_0^2 = q \quad (3.4)$$

dimana  $q$  adalah tekanan stagnasi aliran.

Sedangkan tekanan pada punggung sayap adalah :

$$\begin{aligned} P_1 &= P_0 + 1/2 \cdot \rho \cdot (U_0^2 - U_1^2) \\ &= P_0 + \Delta P \end{aligned} \quad (3.5)$$

Jika  $\Delta P = -P_0$  maka  $P_1 = 0$

Ini berarti bahwa aliran akan patah, mengingat bahwa air tidak dapat menahan tegangan maka gelembung dan rongga kavitasi akan mulai terjadi bila :

$$P_v = \Delta P + P_o \quad (3.6)$$

$P_v$  adalah tekanan uap air pada saat air mulai mendidih. Karena itu kavitasi akan mulai terjadi bila :

$$-\Delta P > P_o - P_v$$

atau

$$\frac{-\Delta P}{q} > \frac{P_o - P_v}{q} = \sigma \quad (3.7)$$

dimana :

$\Delta P$  : Perubahan tekanan

$\sigma$  : Angka kavitasi

$P_o$  : Tekanan statis, yaitu jumlah dari tekanan hidrodinamis dan tekanan atmosfer

$P_v$  : Tekanan uap, tidak tergantung pada suhu

$q$  : Tekanan stagnasi, tergantung pada massa jenis fluida dan kecepatan aliran.

Dalam hidrodinamika, kavitasi umumnya disebabkan oleh aliran. Aliran ini merupakan aliran dua fase yang terdiri dari cairan dan uap cairan. Dan transisi fase tersebut ditimbulkan karena perubahan tekanan hidrodinamis.

Dimungkinkan untuk mendefinisikan atau membedakan tipe-tipe kavitasi menjadi dua secara spesifik yaitu ;

Pertama *cavity* dapat terbentuk dan berkembang dengan cara penguapan dari cairan. Tipe dari kavitasi ini disebut *Vaporous Cavitation* dan terjadi ketika tekanan dinamik berubah sedemikian rupa sehingga tekanan di fluida turun sampai tekanan uap jenuh.



Kedua, cavity atau gelembung dalam fluida juga dapat terjadi dan berkembang karena difusi dari gas yang larut kedalam gelembung atau secara sederhananya dengan cara ekspansi dari kandungan gas dalam fluida ketika tekanan turun. Jenis kavitasi ini disebut *Gaseous Cavitation*.

### 3.2. Insepsi Kavitasi

Insepsi kavitasi adalah mulai terjadinya kavitasi, definisi lainnya adalah keadaan batas antara aliran *non cavity* dan aliran *cavity*. Keadaan ini dapat tercapai dalam dua cara :

1. Dimulai dari kondisi aliran *non cavity* dan penurunan tekanan sampai menuju pada kondisi insepsi kavitasi dan menghasilkan bilangan insepsi kavitasi.
2. Dimulai dari kondisi kavitasi dan kenaikan tekanan sampai menuju pada kondisi desinent kavitasi dan menghasilkan bilangan desinent kavitasi.

untuk selanjutnya, dua bilangan kavitasi terdefiniskan, bilangan insepsi kavitasi  $\sigma_i$  dan bilangan desinent kavitasi  $\sigma_d$  diberikan dalam bentuk ;

$$\sigma_i = \frac{P_{o_i} - P_v}{1/2 \cdot \rho V_o^2}$$

dan

$$\sigma_d = \frac{P_{o_d} - P_v}{1/2 \cdot \rho V_o^2}$$

(3.8)

dimana  $P_o$  adalah tekanan statis yang berkenaan dengan insepsi dan decient kavitasi.



Gambaran masalah kavitasi tidak akan lengkap apabila tidak diikuti dengan penelaahan insepasi kavitasi. Telah diketahui bahwa gas yang terlarut dan uap yang terkondensasi secara permanen dalam cairan, beberapa proses penstabilan, kehadiran gelembung-gelembung kecil yang terlarut atau muncul ke permukaan ( bila ada permukaan bebas) harus terkaitkan dalam penelaahan Insepasi kavitasi.

Secara umum dapat dikatakan bahwa gas yang tak terlarut dapat ada/muncul, baik dalam aliran bebas (disebut *stream nuklei*), ataupun dalam bentuk *pocket* di celah yang sangat kecil ( *sub-microscopic* ) dalam *solid boundaries* ( disebut *wall* atau *surface nuclei* ).

Pada dasarnya permukaan benda dapat kita bagi menjadi dua katagori :

- material *hydropobic* ( sedikit/tak ada daya gabung )
- material *hydropilic* ( daya gabungannya kuat )

Adapun kestabilan Nucleous dalam celah *hydrophobic boundary* dapat dicari melalui persamaan :

$$P_g + P_v = P_0 - \frac{2\sigma}{R} \quad (3.9)$$

dimana :

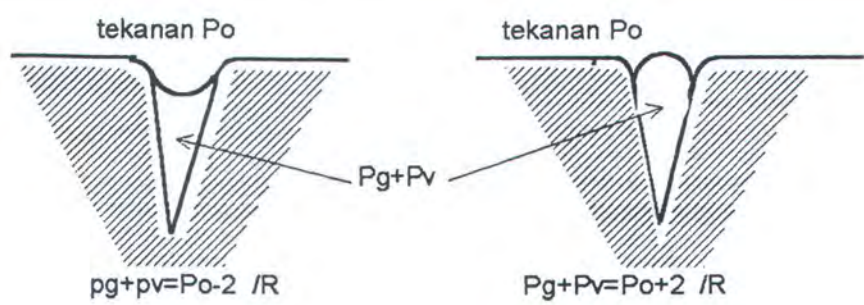
$P_g$  = tekanan partial gas dalam *cavity*

$P_v$  = Tekanan uap

$P_0$  = tekanan cairan

$\sigma$  = tegangan permukaan

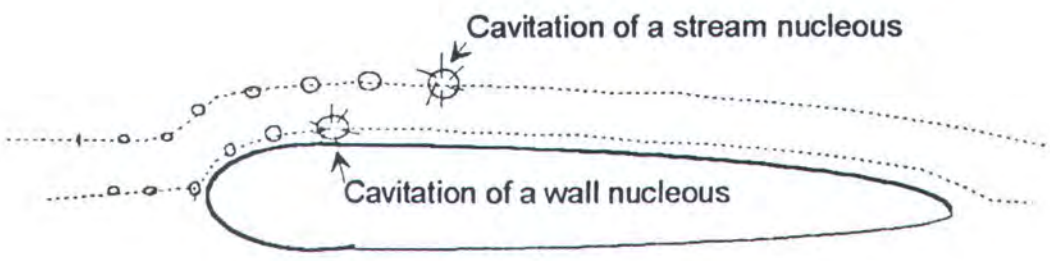
$R$  = radius gas



Gambar 3.2.Keseimbangan nuclei dalam celah material hydrophobic dan hydrophilic

Proses terjadinya inepsi kavitasi ditandai dengan mulai berkembangnya diameter cavity akibat turunnya tekanan pada daerah punggung sebuah foil dimana tekanan disekitar gelembung lebih kecil dari tekanan cavity. Sedangkan dicient kavitasi ditandai dengan menghilangnya gelembung ( *Collapse*), yaitu pada daerah dimana tekanan sekitar lebih besar dari tekanan cavity.

Proses terjadinya rongga cavity dapat terjadi pada daerah yang dekat dengan body disebut *Cavitation of wall nucleous* atau pada daerah diluar body atau disebut *Cavitation of a stream nucleous*.



Gambar 3.3. Proses terjadinya Inepsi kavitasi pada wall dan stream nuclei



### 3.3.Efek Kekentalan

Efek dari kekentalan selama proses perkembangan gelembung adalah. dengan penambahan kekentalan akan menghasilkan pengurangan diameter Cavity maksimum dan pengurangan kecepatan pertumbuhan gelembung.

Sangat sulit menentukan energi yang dikeluarkan akibat kekentalan didalam fluida yang mempunyai tegangan permukaan, sebab kekuatan kekentalan adalah merupakan fungsi tidak hanya dari kekentalan itu sendiri tetapi juga kecepatannya.

Dari sini kehilangan energi akan tergantung dari kecepatan pertumbuhan gelembung, mengempisnya gelembung, dan spesifik kekentalan dari fluidanya.

Untuk harga-harga rendah efek dari kekentalan pada pembentukan kavitasi relatif diabaikan.

Dalam perhitungan dari pertumbuhan dan mengempisnya gelembung untuk fluida *incompressible* dengan memasukkan efek kekentalan dan tegangan permukaan, akan terlihat bahwa kekentalan akan memperlambat pertumbuhan dan mengempisnya gelembung.

Kekentalan dinyatakan dalam persamaan Navier-stokes dari persamaan Momentum adalah sebagai berikut :

$$\mathbf{a} = -\frac{\nabla P}{\rho} + \frac{\mu}{\rho} \nabla^2 \mathbf{q} + \frac{1}{3} \frac{\mu}{\rho} \nabla(\nabla \cdot \mathbf{q}) \quad (3.10)$$

dimana  $\mathbf{a}$  dan  $\mathbf{q}$  adalah percepatan dan vektor kecepatannya.

Pada gerakan *Irrotational* dan *Incompressible*, kedua bentuk tidak mengandung kekentalan. Walaupun demikian resultan dari harga kekentalan akan lenyap pada

suatu titik di fluida tetapi tegangannya sendiri tidak. Tekanan normal  $p_1, p_2$ , dan  $p_3$ , dihubungkan dengan kecepatan normal dari aliran  $\delta\epsilon_1/\delta t$ ,  $\delta\epsilon_2/\delta t$ ,  $\delta\epsilon_3/\delta t$  dengan

$$\begin{aligned} p_1 &= p - 2\mu \frac{\delta\epsilon_1}{\delta t} + \frac{2}{3}\mu \frac{\delta e}{\delta t} \\ p_2 &= p - 2\mu \frac{\delta\epsilon_2}{\delta t} + \frac{2}{3}\mu \frac{\delta e}{\delta t} \\ p_3 &= p - 2\mu \frac{\delta\epsilon_3}{\delta t} + \frac{2}{3}\mu \frac{\delta e}{\delta t} \end{aligned} \quad (3.11)$$

dimana  $P = \frac{1}{3} \cdot (p_1 + p_2 + p_3)$  adalah tekanan rata-rata dan

$e = \epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3$  adalah volume pemuaian.

Dalam masalah gelembung arah radial adalah sumbu utamanya, sehingga kecepatan  $\delta d/\delta t$  akan menjadi sebagai berikut ;

$$\frac{\delta\epsilon_1}{\delta t} = \frac{\delta u}{\delta r} = -2 \frac{dR/dt}{R} \quad (3.12)$$

Pada *cavity wall* tekanan  $p$  didalam fluida akan menjadi  $P$ , dan jika tegangan permukaan tidak ada maka resultan tekanan utama  $p_1$  harus sama dengan tekanan  $P_i$  yang digunakan pada *cavity wall* dengan beberapa bagian dalam gas atau uap.

Sehingga :

$$P = P_i - 4\mu \frac{dR}{dt} - \frac{2}{3}\mu \frac{\delta e}{\delta t} \quad (3.13)$$

Dan jika mengikut sertakan tegangan permukaan ;

$$P = P_i - \frac{2\sigma}{R} - 4\mu \frac{dR}{dt} - \frac{2}{3}\mu \frac{\delta e}{\delta t} \quad (3.14)$$

Untuk fluida *incompressible*  $\delta e/\delta t = 0$

dan jika tanpa mengikutsertakan tegangan permukaan maka ;

$$P = P_i - 4\mu \frac{dR/dt}{R} \quad (3.15)$$



atau dengan tegangan permukaan maka ;

$$P = P_i - \frac{2\sigma}{R} - 4\mu \frac{dR/dt}{R} \quad (3.16)$$

Dari persamaan diatas kelihatan bahwa efek dari kekentalan tertinggi terjadi pada awal pertumbuhan dan dekat dengan mengempisnya gelembung, dimana harga dari kecepatan ( $dR/dt$ ) sangat tinggi.

Dari persamaan (3.8), kita melihat bahwa untuk fluida *incompressible* efek dari kekentalan relatif penting dan bentuk dari tegangan permukaan tergantung pada jenis fluidanya sesuai dengan perbandingan  $\frac{2\mu \cdot dR/dt}{\sigma}$

Untuk jenis gelembung air pembilang dan penyebut dari tersamaan diatas mendekati orde yang sama besarnya pada saat proses mengempisnya gelembung

Efek dari tegangan permukaan dan kekentalan dapat diabaikan jika ;

$$\left| \frac{2\sigma}{R} + \frac{4\mu}{R} \frac{dR}{dt} \right| \ll |P_i - P_t| \quad (3.17)$$

Poritsky menyatakan dalam persamaan orde dua dari pergerakan gelembung sebagai berikut ;

$$\frac{P_i - P_t}{\rho} = R \frac{d^2 R}{dt^2} + \frac{3}{2} \left( \frac{dR}{dt} \right)^2 + 4 \frac{\mu}{\rho} \frac{dR/dt}{R} \quad (3.18)$$

Hubungan energi didapat dengan mengalikan persamaan diatas dengan  $\rho \cdot R^2 dR/dt$  dan di integral dari 0 sampai t sehingga didapat ;

$$\frac{(P_i - P_t)(R_0^3 - R^3)}{3} + \frac{\rho}{2} R^3 \left( \frac{dR}{dt} \right)^2 + 4\mu \int R \left( \frac{dR}{dt} \right)^2 dt = 0 \quad (3.19)$$

Tegangan permukaan dapat ditunjukkan dengan menulis  $P_i - 2\sigma/R - P_t$  kedalam

$P_i - P_t$  pada persamaan (3.18) dan harga  $-\sigma(R_0^2 - R^2)$  ditambahkan pada ruas kiri dari

persamaan (3.19).

Sehingga persamaan (3.18) akan menjadi :

$$\frac{P_i - 2\sigma/R - P_t}{\rho} = R \frac{d^2 R}{dt^2} + \frac{3}{2} \left( \frac{dR}{dt} \right)^2 + 4 \frac{\mu}{\rho} \frac{4dR/dt}{R} \quad (3.20)$$

dan persamaan (3.19) akan menjadi :

$$\frac{(P_i - P_t)(R_o^3 - R^3)}{\rho} + \frac{\rho}{2} R^3 \left( \frac{dR}{dt} \right)^2 + 4\mu \int R \left( \frac{dR}{dt} \right)^2 dt = -\sigma(R_o^2 - R^2) \quad (3.21)$$

Dari hal diatas kelihatan bahwa efek dari kekentalan cenderung mengurangi laju dari perkembangan dan mengempisnya gelembung. Sedangkan tegangan permukaan cenderung mengurangi laju perkembangan gelembung, akan tetapi menambah kecepatan mengempisnya gelembung. Selama perkembangan gelembung, efek dari tegangan permukaan akan mengurangi laju perkembangan gelembung hanya pada awal proses.



## **BAB IV**

## BAB IV

### PENGEMBANGAN PROGRAM

Pada bab ini akan diuraikan kronologi pembuatan program beserta masalah-masalah yang dihadapi dan cara penyelesaiannya. Contoh hasil run program yang pernah dicoba akan diberikan pada lampiran. Langkah-langkah pengerjaannya dimulai dari pembentukan penampang sayap, penentuan kecepatan disekitar penampang sayap, mencari tekanan disekitar penampang sayap dan akhirnya digunakan untuk menganalisa keadaan dari gelembung yang dijalankan disekitar punggung foil yang mengalami penurunan tekanan.

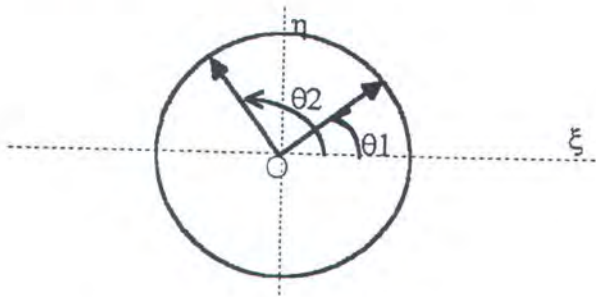
#### 4.1 Pembentukan Penampang Sayap

Pada tugas akhir ini penampang sayap yang digunakan adalah penampang sayap yang dibentuk dari pemetaan lingkaran menjadi sebuah penampang sayap dengan Teknik pemetaan Conformal. Sebagai langkah awal sebuah lingkaran didifinisikan berdasarkan rumus sebagai berikut:

$$\zeta_1(\xi_1, \eta_1) = Re^{i\theta} \quad (4.1)$$

Jadi dengan demikian koordinat dari titik-titik sepanjang lingkaran dapat dicari berdasarkan variasi dari harga-harga  $\theta_1$  dan  $\theta_2$  seperti gambar dibawah ini.

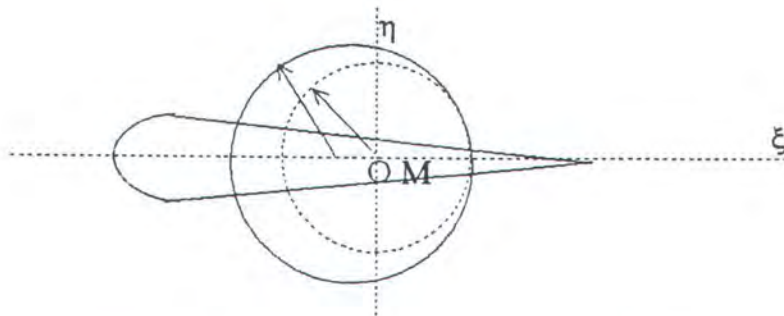




Gambar 4.1 Koordinat lingkaran

Jika titik pusat lingkaran (O) digeser sejauh  $\delta\zeta(\xi_1, \eta_1)$  misalnya pada titik M, Maka koordinat lingkaran yang baru akan menjadi :

$$\zeta(\xi, \eta) = \zeta_1(\xi_1, \eta_1) + \delta\zeta(\delta\xi, \delta\eta) \tag{4.2}$$



Gambar 4.2 Pembentukan penampang sayap

Koordinat lingkaran setelah mengalami pergeseran koordinat seperti gambar 4.2 akan menjadi sebuah bentuk penampang sayap dengan rumus sebagai berikut :

$$z(x,y) = \zeta(\xi, \eta) + \frac{a^2}{\zeta(\xi, \eta)} \tag{4.3}$$

dimana :

$z(x,y)$  adalah koordinat penampang sayap dan

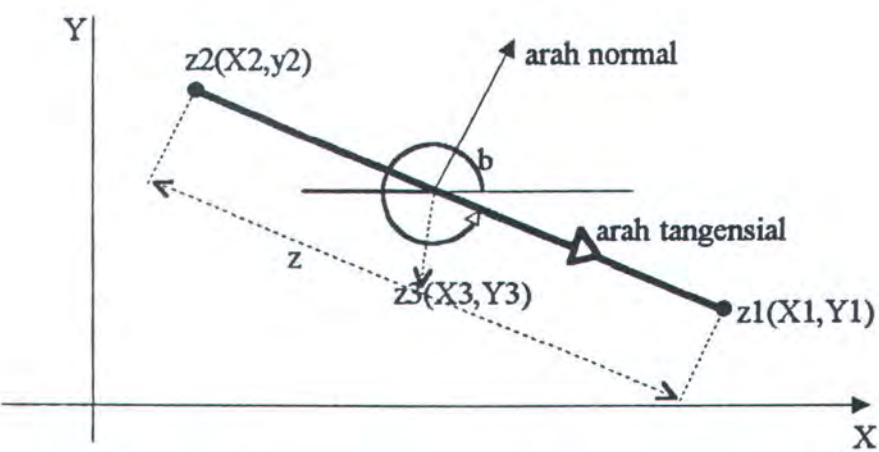
$$a = \sqrt{R^2 - \delta\eta^2} - |\delta\xi| - x_b$$

harga  $x_b$  diberikan agar ekor sayap yang dibentuk tidak runcing (*define the third to avoid cusp in the trailing edge*). untuk program ini diberikan harga  $x_b = 0,01$

Dengan demikian maka bentuk dari penampang sayap yang kita inginkan sudah terbentuk.

4.2 Penentuan Panjang ,Titik tengah serta sudut normal dari panel.

Untuk mencari harga-harga dari panjang panel, titik tengah panel, dan sudut normal dari panel dilakukan langkah-langkah sebagai berikut :



Gambar 4.3 data komponen dari panel

Panjang panel ;

$$z = z2 (X2 , Y2 ) - ( X1 , Y1 )$$

( 4.3 )

Titik tengah penel ;

$$z3 ( X3 , Y3 ) = z1 + 0,5 \; z$$

( 4.4 )

Penyelesaian diatas menggunakan bilangan kompleks , sehingga panjang dari panel didapat dari harga absolut dari persamaan (4.3), sedangkan sudut dari panel ( $\beta$ ) didapat dari harga argumennya .

4.3. Penentuan Kekuatan Vortex pada tiap-tiap titik kontrol

Data-data dari panjang panel, titik tengah panel dan sudut dari masing-masing panel didapat selanjutnya dilakukan perhitungan kekuatan pada masing-masing titik kontrol yaitu pada tengah-tengah panjang panel.

Kekuatan dari Vortex selanjutnya dihitung berdasarkan persamaan ;

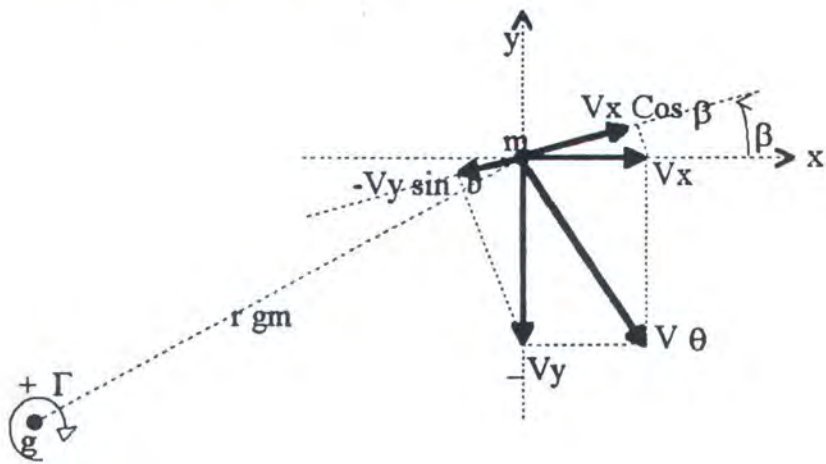
$$\text{Re}[V^\infty e^{-i\beta_m}] = - \left[ \frac{\gamma(g) e^{ii\beta_m} dS_g}{2\pi \cdot r_{gm}} \right]$$

(4.5)

dimana ;

$V^\infty$  adalah kecepatan fluida yang jauh dari body

$r_{gm}$  adalah jarak dari titik m ke titik g



Gambar 4.4 Pengaruh panel keg terhadap panel ke m

$$r_{gm} = Z_m - Z_g$$

dalam bentuk bilangan Kompleks

$$r_{gm} = (X_m - iY_m) - (X_g - iY_g)$$

sehigga persamaan (4.5) dapat ditulis sebagai berikut ;

$$\operatorname{Re}\left[\frac{\gamma(g).e^{i\beta m}.dSg}{2\pi(Zm-Zg)}\right] = -\operatorname{Re}[V_{\infty}.e^{-i\beta m}] \quad (4.6)$$

Untuk seluruh panel dapat disusun persamaan sebagai berikut ;

$$\begin{aligned} V_{11} + V_{12} + V_{13} + \dots + V_{1(g-1)} + V_{1g} &= -\operatorname{Re}[V_{\infty}.e^{-i\beta_1}] \\ V_{21} + V_{22} + V_{23} + \dots + V_{2(g-1)} + V_{2g} &= -\operatorname{Re}[V_{\infty}.e^{-i\beta_2}] \\ \vdots & \\ V_{m1} + V_{m2} + V_{m3} + \dots + V_{m(g-1)} + V_{mg} &= -\operatorname{Re}[V_{\infty}.e^{-i\beta_m}] \end{aligned} \quad (4.7)$$

Jika dimasukkan harga ;

$$A_{mn} = \operatorname{Re}\left[\frac{e^{i\beta_m}.dSg}{2\pi(Zm-Zg)}\right] \text{ dan harga } m=g, \text{ sehingga } A_{mm} = -1/2$$

maka persamaan (4.7) dapat ditulis dalam bentuk matrik sebagai berikut ;

$$\begin{bmatrix} -1/2 & A_{12} & A_{13} & \dots & A_{1g} \\ A_{21} & -1/2 & A_{23} & \dots & A_{2g} \\ \vdots & & & & \\ A_{m1} & A_{m2} & A_{m3} & \dots & -1/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \gamma_1 \\ \gamma_2 \\ \vdots \\ \gamma_g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\operatorname{Re}[V_{\infty}.e^{-i\beta_{t_1}}] \\ -\operatorname{Re}[V_{\infty}.e^{-i\beta_{t_2}}] \\ \vdots \\ -\operatorname{Re}[V_{\infty}.e^{-i\beta_{t_m}}] \end{bmatrix}$$

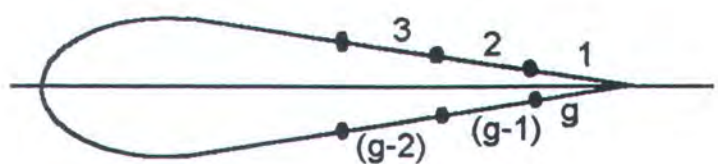
atau

$$[A].[ \gamma ] = [V_{\infty}]$$

$$[ \gamma ] = [A]^{-1}.[V_{\infty}] \quad (4.8)$$



dari persamaan diatas maka kekuatan vortek pada tiap-tiap panel dapat diketahui. Sedangkan pengaruh dari panel yang bersebrangan, misalnya panel 1 dan panel g, panel 2 dengan panel (g-1), dan seterusnya, digantikan oleh konstribusi panel yang lainnya.



Gambar 4.5 . Panel yang bersebrangan

Kontribusi tersebut secara matematis dapat ditulis sebagai berikut ;

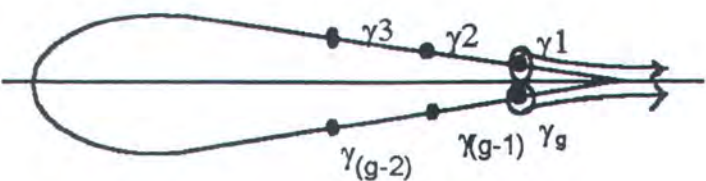
$$A_{pq} = \frac{-1}{dS_p} \sum_{j=1}^a A_{jg} \cdot dS_j \tag{4.9}$$

dimana  $j \neq p$   $q=g$

$$\begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} & .... & .... & A_{1g} \\ A_{21} & A_{22} & .... & .... & A_{2(g-1)} & A_{2g} \\ A_{31} & .... & .... & A_{3(g-2)} & A_{3(g-1)} & A_{3g} \\ . & & & & & . \\ . & & & & & . \\ A_{m1} & A_{m2} & .... & .... & A_{m(g-1)} & A_{mg} \end{bmatrix}$$

Oleh karena itu matrik diatas akan mengalami koreksi pada bagian diagonalnya, dan besarnya sama dengan persamaan (4.9).

Sedangkan dari kondisi batas Kutta menyatakan bahwa pada daerah trailing edge adalah sama, tetapi berlawanan arah.

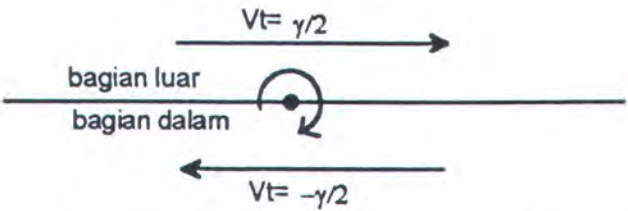


Gambar 4.6 . Aliran pada trailing edge

Karena  $\gamma(1) = \gamma(g)$  tetapi berlawanan arah, maka matrik  $[m \times g]$  pada persamaan (4.8) akan menjadi matrik  $[(m-1) \times (g-1)]$ .

4.4. Penentuan Kecepatan dan koefisien Tekanan

Setelah besarnya kekuatan vorteks pada tiap-tiap titik kontrol diketahui, langkah berikutnya adalah menentukan tekanan di sekitar penampang sayap. Langkah pertama yang dilakukan adalah mencari kecepatan aliran pada masing-masing titik kontrol. Yang dimaksud dalam hal ini adalah kecepatan tangensialnya yang tidak lain adalah kekuatan dari vorteks itu sendiri.



Gambar 4.7.Kecepatan tangensial yang dihasilkan  $v_t$

Karena bagian dalam dari body tidak ada aliran maka secara matematis dapat dijumlahkan dengan  $\gamma/2$ . Sehingga kecepatan pada daerah luar body sama dengan  $\gamma$ . Dengan memakai persamaan Bernoulli maka akan didapatkan tekanan pada tiap-tiap titik kontrol.

$$\frac{P_0}{\rho} + 1/2 \cdot V_{\infty}^2 = P + 1/2 V^2$$

$$\frac{P - P_0}{\rho} = 1 - \left(\frac{V}{V_{\infty}}\right)^2 = CP \quad (4.10)$$

dimana ;

$P_0$  = Tekanan jauh dari body

$V_{\infty}$  = Kecepatan jauh dari body

Dengan membagi persamaan (3.10) dengan harga  $1/2 \cdot V^2$  maka harga koefisien tekanan didapat sebagai berikut :

$$CP_x = 1 - (V_x/V_{\infty})^2 \quad (4.11)$$

atau untuk harga total

$$CP = \Sigma(1 - (V_g/V_{\infty})^2) \quad (4.12)$$

dimana :

$V_g$  : Kecepatan tangensial pada titik kontrol

$V_{\infty}$  : Kecepatan fluida jauh dari body

CP : Koefisien Tekanan

Dari persamaan (4.10) didapat bahwa harga koefisien tekanan pada tiap-tiap titik kontrol dapat diketahui, dan pada titik stagnasi harga  $CP=1$ .



#### 4.5. Penentuan daerah Kavitas berdasarkan sifat gelembung

Setelah harga dari koefisien tekanan (CP) diketahui, langkah selanjutnya adalah menentukan besarnya tekanan pada masing-masing titik kontrol di daerah seputar penampang sayap.

Dengan menggunakan persamaan :

$$P_t = CP \cdot \frac{\rho \cdot V_{\infty}^2}{2} - P_o \quad (4.13)$$

dimana :

$P_t$  : Tekanan pada titik kontrol

$CP$  : Koefisien tekanan

$\rho$  : Berat jenis fluida

$V_{\infty}$  : Kecepatan aliran jauh dari bodi

$P_o$  : Tekanan jauh dari bodi

Dengan menggunakan persamaan (3.20), yaitu :

$$\frac{P_i - 2\sigma/R - P_t}{\rho} = R \frac{d^2R}{dt^2} + \frac{3}{2} \left( \frac{dR}{dt} \right)^2 + 4 \frac{\mu}{\rho} \frac{dR}{dt} \quad (4.14)$$

dimana :

$R$  : adalah diameter awal dari gelembung.

$P_i$  : Tekanan cavity

Persamaan diatas (4.14) dapat dirubah menjadi :

$$R \frac{d^2R}{dt^2} + \frac{3}{2} \left( \frac{dR}{dt} \right)^2 + 4 \frac{\mu}{\rho} \frac{dR}{dt} - \frac{P_i - 2\sigma/R - P_t}{\rho} = 0 \quad (4.15)$$

Dengan mensubstitusikan harga-harga :

$$\mu = \frac{\mu'}{4} R_o \sqrt{\rho(P_t - P_i)}$$

$$R = R_o \cdot r$$

$$\sigma = \sigma' \cdot R_o \sqrt{\rho(P_t - P_i)}$$



Maka persamaan (4.15) dapat dirubah menjadi :

$$r \frac{d^2 r}{dT^2} + \frac{3}{2} \left( \frac{dr}{dT} \right)^2 + \mu' \frac{dr/dT}{r} + 2 \frac{\sigma'}{r} + 1 = 0 \quad (4.16)$$

Sehingga :

$$- \frac{d^2 r}{dT^2} = \frac{3}{2r} \left( \frac{dr}{dT} \right)^2 + \mu' \frac{dr/dT}{r^2} + 2 \frac{\sigma'}{r^2} + \frac{1}{r} \quad (4.17)$$

dimana :

$$\mu' = \frac{4\mu}{R_o \sqrt{\rho(P_t - P_i)}}$$

$$\sigma' = \frac{\sigma}{R_o \sqrt{(P_t - P_i)}}$$

$$r = \frac{R}{R_o}$$

Persamaan (4.17) dapat ditulis juga dalam bentuk seperti berikut ;

$$- r'' = \frac{3}{2r} (r')^2 + \mu' \frac{r'}{r^2} + 2 \frac{\sigma'}{r^2} + \frac{1}{r} \quad (4.18)$$

Dengan menggunakan analisa Rungga-Kutta persamaan (4.18) dapat diselesaikan sebagai berikut ;

$$r' = f(t, r, u)$$

$$u' = g(t, r, u) \quad (4.19)$$

sehingga jika diketahui harga awal dari

$r(t_0) = r_0$  , dan  $u(t_0) = u_0$  maka dengan analisa Rungge-Kutta orde ke empat

persamaan (4.18) diselesaikan dalam bentuk ;

$$k_1 = hf(t_0, r_0, u_0)$$

$$l_1 = hg(t_0, r_0, u_0)$$

$$k_2 = hf(t_0 + 0,5h, r_0 + 0,5k_1, u_0 + 0,5l_1)$$

$$l_2 = hg(t_0 + 0,5h, r_0 + 0,5 k_1, u_0 + 0,5l_1)$$

$$k_3 = hf(t_0 + 0,5h, r_0 + 0,5k_2, u_0 + 0,5l_2)$$

$$l_3 = hg(t_0 + 0,5h, r_0 + 0,5k_2, u_0 + 0,5l_2)$$

$$k_4 = hf(t_0 + 0,5h, r_0 + 0,5k_3, u_0 + 0,5l_3)$$

$$l_4 = hg(t_0 + 0,5h, r_0 + 0,5k_3, u_0 + 0,5l_3)$$

dan

$$r_1 = r_0 + 1/6(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4)$$

$$u_1 = u_0 + 1/6(l_1 + 2l_2 + 2l_3 + l_4)$$

Sehingga dengan demikian harga  $r$  pada waktu tertentu yaitu waktu antara dua titik kontrol, dapat ditentukan.

Dari persamaan (4.14) terlihat bahwa jika tekanan kavity  $P_i$  lebih besar dari tekanan  $P_t$  maka harga  $dr/dt$  akan positif yang artinya diameter gelembung akan mengembang dan pada saat itu dijadikan awal terbentuknya kavitasi. Begitu juga sebaliknya jika harga  $P_i$  lebih kecil dari harga  $P_t$  maka diameter gelembung akan mengempis dan akhirnya akan collapse. Titik dimana diameter gelembung itu mengalami collapse adalah merupakan berakhirnya kavitasi.



## **BAB V**

## **BAB V**

### **ANALISA HASIL RUNNING PROGRAM**

Pada bab ini akan diberikan beberapa hasil running dari program yang telah dibuat, yaitu Pengujian terhadap program serta beberapa analisa proses terjadinya dalam hubungannya dengan sudut serang, tekanan awal serta kecepatan aliran jauh dari body.

#### **5.1. Distribusi tekanan**

Seperti telah dibahas pada bab terdahulu, bahwa pemodelan kavitasi pada tugas akhir ini berangkat dari pemodelan bentuk penampang sayap dengan menggunakan teknik pemetaan konformal. Untuk itu akan dilakukan pengujian terhadap program yang telah dibuat dengan cara dibandingkan dengan data eksperimen NACA (I.H.Abbott and A.E.Von Doenhoff, Theory of wing section, Dover, New York, 1958).

Dalam hal ini dipilih profil NACA-0008 sebagai pembanding, dengan sudut serang 0. Karena profil NACA tidak dibuat dengan teknik Conformal mapping maka dipilih model penampang sayap yang mendekati bentuk profil NACA-0008, yang dalam hal ini adalah sebuah penampang sayap dengan data-data sebagai berikut ;

Jari-jari (R)  $= 0.5 \text{ m}$

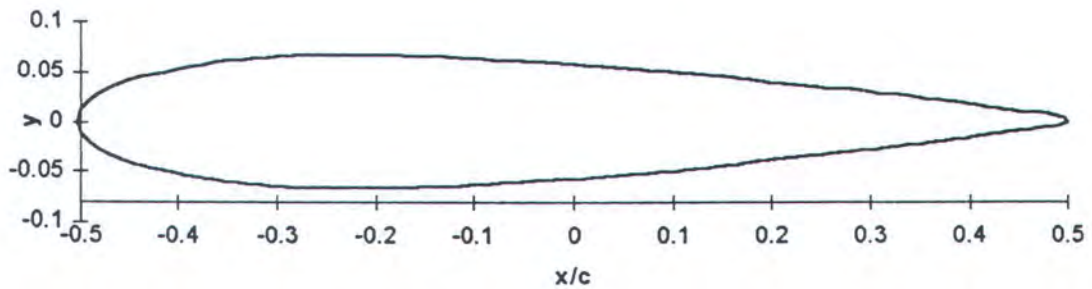


Koordinat geser ( $x_d$ ) = -0.02 m

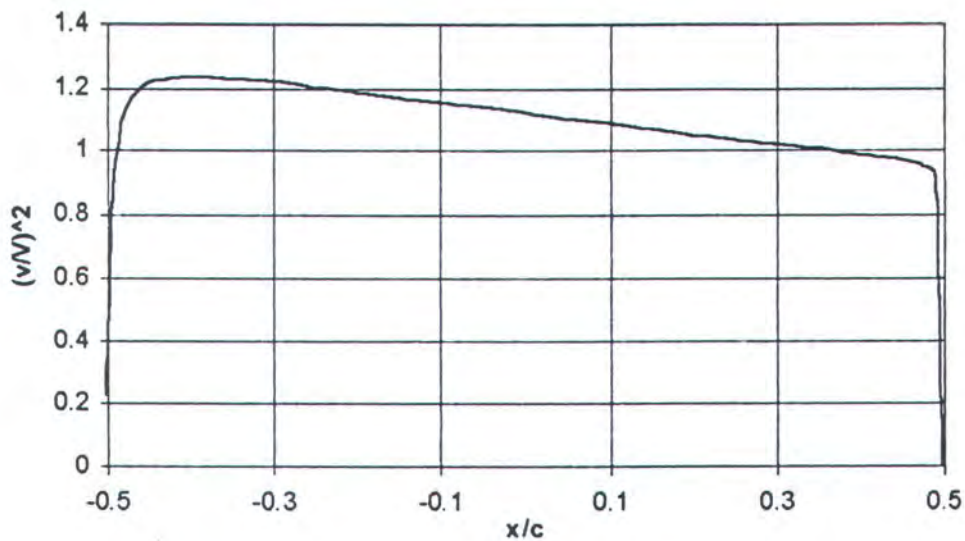
Koordinat geser ( $y_d$ ) = 0 m

Kecepatan aliran fluida ( $V$ ) = 1 m/det

Jumlah panel = 50



Gambar 5.1. Plot Penampang Sayap



Grafik 5.1. Distribusi tekanan penampang sayap

Maka bentuk dari distribusi tekanan pada profil penampang sayap model, mirip dengan distribusi tekanan pada profil NACA 0008, seperti terlihat pada lampiran A halaman 67.

5.2. Grafik pertumbuhan Gelembung

Dalam pengujian dari grafik pertumbuhan gelembung pada program yang telah dibuat yaitu pada Subroutine Bubble, akan dibandingkan antara hasil dari running program pada Subroutine Bubble dengan Grafik pertumbuhan gelembung yang dibuat oleh poritski.

Untuk itu dimasukkan harga-harga  $\upsilon'$ , dan  $\sigma'$  seperti pada grafik pertumbuhan gelembung Poritsky yaitu ;

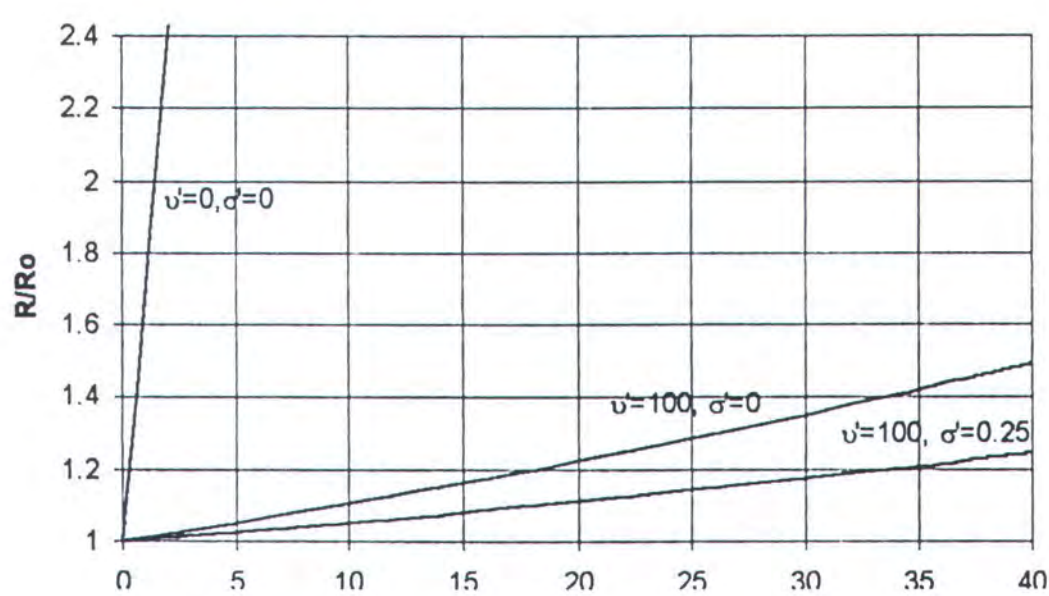
Untuk Grafik perkembangan (*Growth*)

$\upsilon' = 0 \quad \text{dan} \quad \sigma' = 0$

$\upsilon' = 100 \quad \text{dan} \quad \sigma' = 0$

$\upsilon' = 100 \quad \text{dan} \quad \sigma' = 0.25$

maka didapatkan bentuk grafik seperti dibawah ini .



Grafik 5.2. Grafik pertumbuhan gelembung

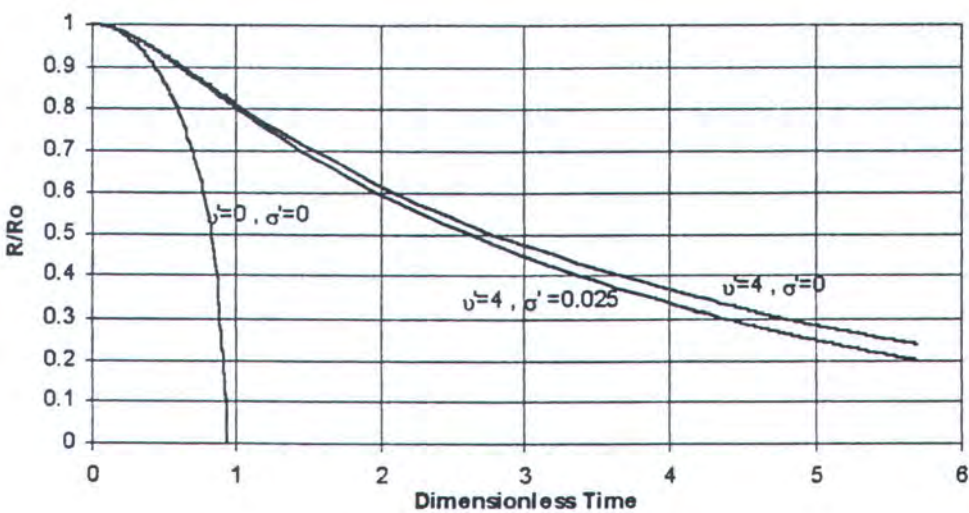
Untuk Grafik pengempisan (Collapse)

$v' = 0 \text{ dan } \sigma' = 0$

$v' = 4 \text{ dan } \sigma' = 0.025$

$v' = 4 \text{ dan } \sigma' = 0$

maka didapatkan bentuk grafik seperti dibawah ini .



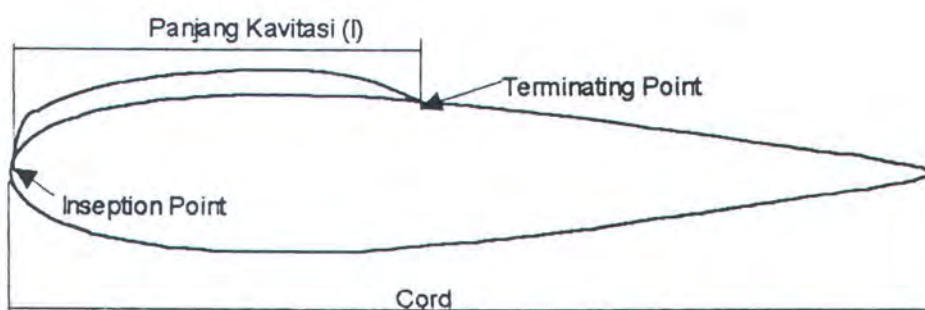
Grafik 5.3. Grafik Mengempisnya Gelembung

Dari dua grafik diatas terlihat bahwa bentuk dari grafiknya persis sama dengan grafik pertumbuhan (*Growth*) dan pengempisan (*Collapse*) dari Poritsky seperti terlihat pada lampiran A halaman 68.



### 5.3. Penentuan Panjang Kavitasi.

Panjang daerah kavitasi adalah jarak antara mulai terjadinya Kavitasi (*Inseption point*), sampai dengan tempat dimana kavitasi itu berakhir ( *Terminating Point*). Awal terjadinya kavitasi ditandai dengan mulai terbentuknya gelembung kavitasi yaitu berkembangnya diameter gelembung *cavity* akibat dari tekanan didaerah punggung penampang sayap mengalami penurunan. Diameter gelembung *cavity* akan mengembang apabila dalam perjalanannya gelembung tersebut memasuki daerah yang mempunyai tekanan ( $P_i$ ) lebih kecil dari tekanan *cavity* nya ( $P_c$ ). Diameter gelembung tersebut akan terus berkembang sampai memasuki daerah dimana tekanan ( $P_i$ ) lebih besar dari tekanan gelembung *cavity* ( $P_c$ ). Pada daerah ini gelembung akan mulai mengempis sampai akhirnya gelembung *cavity* tersebut mengalami *Collapse*.



Gambar 5.2. Cord length dan Cavity length

Untuk itu maka akan diset harga awal dari  $P_o$ , dan  $P_c$  untuk menentukan lokasi dari terjadinya kavitasi tersebut.



Sebagai harga awal untuk profil penampang sayap dengan data-data sebagai berikut;

$$\text{Jari-jari (R)} = 0.5 \text{ m}$$

$$\text{Koordinat geser (xd)} = -0.02 \text{ m}$$

$$\text{Koordinat geser (yd)} = 0$$

$$\text{Angle of attack } (\alpha) = 2$$

$$\text{Kecepatan aliran (Vo)} = 1 \text{ m/det}$$

Dengan jumlah panel 50 maka dipilih lokasi akhir terjadinya kavitasi pada panel no 13, sedangkan gelembung *cavity* dilepas pada ujung profil penampang sayap yaitu panel no 25. Maka didapat harga-harga dari  $P_o = 1010 \text{ Pa}$  dan  $P_c = 900 \text{ Pa}$

Selanjutnya akan dilakukan pengujian pada berbagai keadaan Tekanan awal ( $P_o$ ), Kecepatan aliran jauh dari body ( $V_o$ ), serta sudut serang ( $\alpha$ ), dalam hubungannya dengan panjang dan daerah terjadinya kavitasi.

#### 5.4. Pengaruh sudut serang $\alpha$ terhadap kavitasi

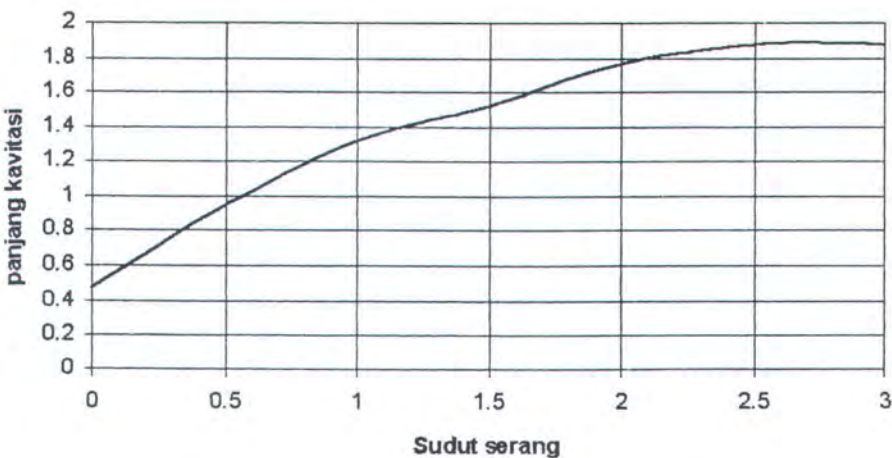
Dengan data-data seperti diatas akan dicoba pengaruh dari sudut serang terhadap proses terjadinya kavitasi. Dari hasil running program untuk sudut serang  $\alpha = 0, \alpha = 0,5, \alpha = 1, \alpha = 1,5, \alpha = 2, \alpha = 2,5, \alpha = 3$  , pada  $P_o=1010 \text{ Pa}$

Didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 5.1. Hubungan  $\alpha$  dengan l

Sudut serang ( $\alpha$ )	Panjang kavitasi (l)
0	0,472
0,5	0,94019
1	1,32282
1,5	1,5213
2	1,7681
2,5	1,875
3	1,875

Sehinga didapatkan grafik hubungan antara sudut serang dan panjang kavitasinya sebagai berikut.



Grafik 5.4. Grafik hubungan sudut serang terhadap panjang kavitasi

Dari data diatas kelihatan bahwa semakin besar sudut serang, panjang kavitasi yang terbentuk akan semakin besar, demikian juga dengan awal terjadinya

kavitasi. Dengan semakin bertambahnya sudut serang maka lokasi awal terbentuknya kavitasi akan semakin mendekati ujung dari penampang sayap.

5.5. Pengaruh Tekanan  $P_o$  terhadap kavitasi

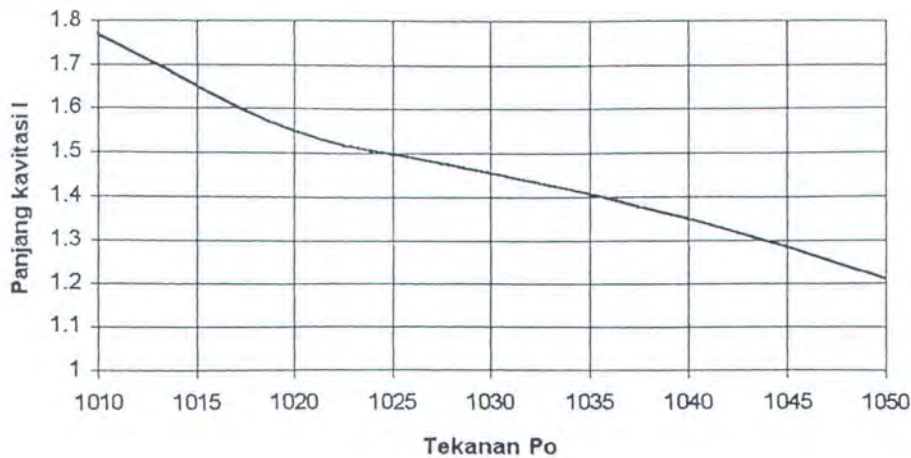
Selanjutnya dilakukan analisa terhadap pengaruh dari tekanan awal  $P_o$  terhadap panjang kavitasi yang terbentuk. Untuk itu dicoba pada penampang sayap seperti pada 5.3 dengan sudut serang 5, dan harga  $P_o$  dimasukkan masing-masing, 1010, 1020, 1030, 1040,1050 dan didapat hasil sebagai berikut ;

Tabel 5.2. Hubungan  $P_o$  dengan l

Tekanan $P_o$	Panjang kavitasi (l)
'1010	1,7681
'1020	1,5486
'1030	1,4535
'1040	1,3501
'1050	1,2125

Dari data diatas didapat grafik hubungan antara tekanan  $P_o$  dengan panjang kavitasi sebagai berikut ;





Grafik 5.5 Grafik hubungan Tekanan  $P_o$  terhadap panjang kavitasi  $l$

Dari grafik diatas terlihat bahwa panjang kavitasi akan semakin kecil dengan bertambah besarnya tekanan awal  $P_o$ .

5.6. Pengaruh Kecepatan  $V$  terhadap kavitasi

Hubungan kecepatan aliran jauh dari body  $V$  terhadap terbentuknya kavitasi akan di perhatikan pada hasil analisa berikut ini. . Dengan menggunakan data profil penampang sayap yang sama dengan angle of attack 3, daerah kavitasi dicoba pada harga-harga  $V=0,6$ ,  $V=0,7$ ,  $V=0,8$ ,  $V=0,9$  dan  $V= 1$ . Dan didapat hasil sebagai berikut;

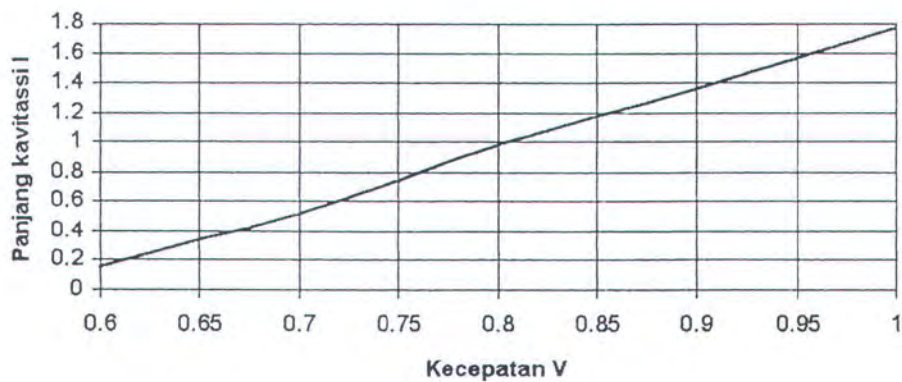


Tabel 5.3. Hubungan V dengan l

Kecepatan V	Panjang kavitasi (l)
0,6	0,1603
0,7	0,523
0,8	0,9811
0,9	1,3501
1	1,7681

Sehingga grafik hubungan antara kecepatan V dan panjang kavitasinya diperlihatkan pada gambar dibawah ini.

Grafik hubungan kecepatan dan panjang kavitasi

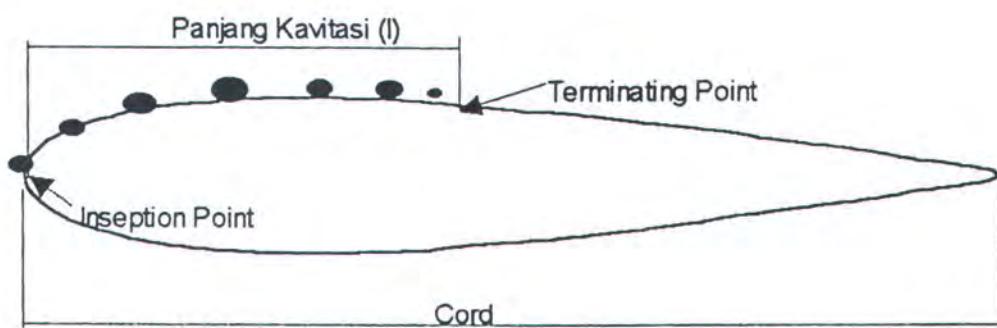


Grafik 5.6. Grafik hubungan Kecepatan V terhadap Panjang kavitasi l

### 5.7. Kesimpulan

(1). Pada prinsipnya fenomena kavitasi yang dibahas dalam tugas akhir ini dapat dijelaskan sebagai berikut ;

Awal terbentuknya kavitasi dimulai dari berkembangnya gelembung akibat tekanan pada daerah yang dilewati oleh gelembung  $P_t$  lebih kecil dari tekanan kaviti  $P_i$ . Dan dalam perjalanannya di daerah punggung foil diameter gelembung ini akan terus berkembang selama tekanan lingkungannya ( $P_t$ ) lebih kecil dari tekanan kaviti. Pada saat gelembung memasuki daerah yang tekanannya lebih besar dari tekanan kaviti maka gelembung akan mengempis ( diameter gelembung mengecil ). Diameter gelembung ini akan terus mengempis sampai gelembung mengalami *collapse*. Daerah dimana saat terjadinya perkembangan gelembung (*inseption point*) dan daerah dimana gelembung mengalami collapse (*terminating point*) ditetapkan sebagai daerah kavitasi.



Gambar 5.3 perkembangan gelembung kavitasi

(2). Penentuan letak munculnya gelembung dan lenyapnya gelembung ditentukan pada titik tengah panel. Sehingga akan lebih teliti jika jumlah panel lebih banyak sebab pembagian panel-panel akan lebih rapat.

(3). Sebagaimana dibahas pada sub bab 5.4, bahwa pengaruh sudut serang terhadap terbentuknya kavitas adalah dengan bertambah besar sudut serang ( $\alpha$ ) maka panjang daerah kavitas yang terbentuk akan semakin besar, sebagaimana ditunjukkan pada grafik 5.4

(4). Harga tekanan hidrostatik  $P_o$  terhadap terbentuknya kavitas sebagaimana ditunjukkan pada grafik 5.5 bahwa dengan bertambah besarnya tekanan  $P_o$ , maka panjang kavitas yang terbentuk akan semakin kecil.

(5). Pengaruh kecepatan awal (kecepatan aliran jauh dari body) terhadap terbentuknya kavitas, seperti terlihat pada grafik 5.6 adalah dengan bertambah besarnya kecepatan awal  $V$  maka panjang kavitas yang terbentuk akan semakin besar.

(6). Kekentalan (viskositas) dan tegangan permukaan dari fluida akan memperlambat pertumbuhan gelembung hal ini ditunjukkan pada grafik 5.2. Sedangkan untuk proses mengempisnya gelembung hanya kekentalan fluida yang memperlambat



kecepatan mengempisnya gelembung sedangkan tegangan permukaan cairan justru akan mempercepat proses terjadinya collapse (grafik 5.3).

(7). Pada tugas akhir ini gelembung dijalankan pada daerah punggung dekat body (*Cavitation of wall nucleous*), sehingga hanya daerah kavitasinya dapat ditentukan tetapi bentuk luasan kavitasinya sendiri tidak dapat ditentukan sebab kavitasi diluar body pada garis aliran (*Cavitation of a stream nucleous*) tidak diselidiki.



## **DAFTAR PUSTAKA**

**Spiegel,M.R., Theory and Problem of Complex Variable with an Introduction to Conformal Mapping**

**I.H.Abbott and A.E.von Doenhoff, Theory of Wing Section, Dover, New York,1958**

**Harvald,SV.Aa, Resistance and Propulsion of Ship, John Wiley & Sons, New York ,1993**

**Kuethe.A.M., Foundations of Aerodynamics. Bases of Aerodynamic Design,**

**John Wiley & Sons,Dept. of Aerospace Engineering, University of Michigan, 4th edition**

**L.M.Milne-Thomson, Theoretical Hydrodynamics, 5th ed.,Macmilan,New York,1968**

**Uhlman,J,S.Jr, The Surface Singularity Method Applied to Partially Cavitating**

**Hydrofoil, Journal of Ship Research, Vol.31,No.2,June 1987,pp.107-124**

**Sir Horace Lamb, Hydrodynamics, Sixth Edition, Cambridge University Press, 1932**

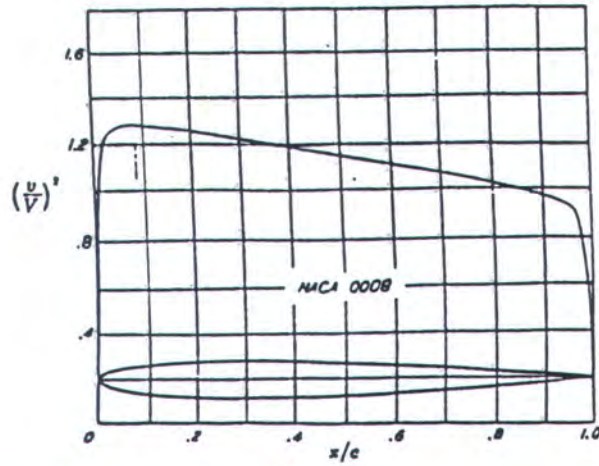
**Darwin Sitompul ,Ir, M.Eng , Fortran 77 Untuk Mikro Komputer, Erlangga 1990**

**Frank M.white, Fluid Mechanics, Second Edition, Mc Graw-Hill Ltd, 1986**



**LAMPIRAN**

## Lampiran A



$x$ (per cent $c$ )	$y$ (per cent $c$ )	$(v/V)^2$	$v/V$	$\Delta v_s/V$
0	0	0	0	2.900
0.5	.....	0.792	0.890	1.795
1.25	1.263	1.103	1.050	1.310
2.5	1.743	1.221	1.105	0.971
5.0	2.369	1.272	1.128	0.694
7.5	2.800	1.284	1.133	0.561
10	3.121	1.277	1.130	0.479
15	3.564	1.272	1.128	0.379
20	3.825	1.259	1.122	0.318
25	3.961	1.241	1.114	0.273
30	4.001	1.223	1.106	0.239
40	3.869	1.186	1.089	0.188
50	3.529	1.149	1.072	0.152
60	3.043	1.111	1.054	0.121
70	2.443	1.080	1.039	0.096
80	1.749	1.034	1.017	0.071
90	0.965	0.968	0.984	0.047
95	0.537	0.939	0.969	0.031
100	0.084	.....	.....	0

L.E. radius: 0.70 per cent  $c$ 

NACA 0008 Basic Thickness Form

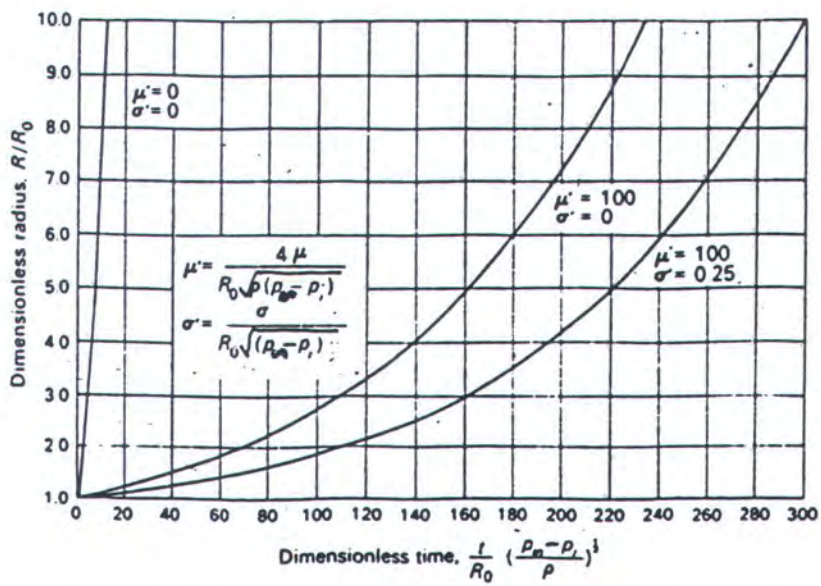


FIG. 4-7 Growth of a spherical bubble in an incompressible liquid with and without viscosity and surface tension. [Adapted from Poritsky (41).]

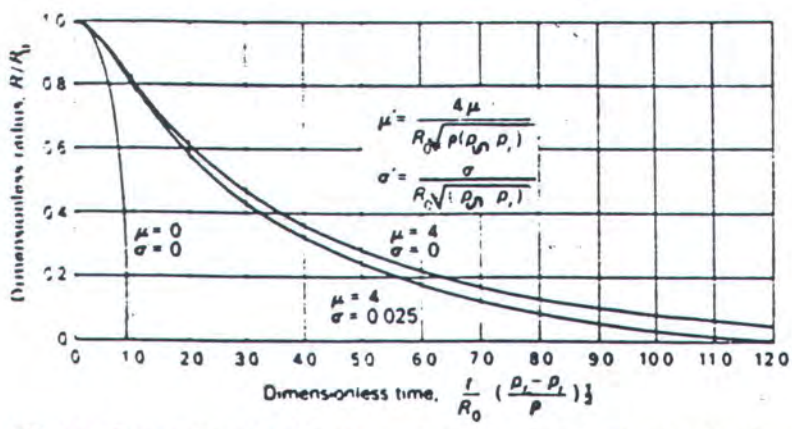


FIG. 4-8 Collapse of a spherical bubble in an incompressible liquid with and without surface tension. [Adapted from Poritsky (41).]



Data Masukan

Jari-jari = 0,5 m

Jumlah panel = 50

Koordinat geser (xd) = -0,02 m

Anggle of attack = 0

Koordinat geser (yd) = 0

Kecepatan aliran = 1

No	X	Y	Xnode	v	Xnode	CP
1	0.94021	0	0.93619	0.88	0.93619	-1.81505
2	0.93217	0.00263	0.9202	0.95415	0.9202	-0.08961
3	0.90823	0.00545	0.88854	0.97824	0.88854	-0.04305
4	0.86885	0.00866	0.84183	0.98572	0.84183	-0.02837
5	0.81481	0.01239	0.78098	0.99197	0.78098	-0.016
6	0.74715	0.01671	0.70716	0.99861	0.70716	-0.00277
7	0.66717	0.02166	0.62177	1.00599	0.62177	0.01202
8	0.57637	0.02716	0.52638	1.01413	0.52638	0.02846
9	0.4764	0.03308	0.42272	1.02295	0.42272	0.04643
10	0.36905	0.03925	0.31261	1.03233	0.31261	0.0657
11	0.25617	0.04541	0.19793	1.0421	0.19793	0.08597
12	0.13969	0.05128	0.08059	1.05209	0.08059	0.10689
13	0.0215	0.05657	-0.03751	1.06211	-0.03751	0.12808
14	-0.09651	0.06099	-0.15451	1.07197	-0.15451	0.14911
15	-0.21251	0.06425	-0.26863	1.08145	-0.26863	0.16952
16	-0.32475	0.06613	-0.37817	1.0903	-0.37817	0.18876
17	-0.43159	0.06643	-0.48153	1.09825	-0.48153	0.20615
18	-0.53148	0.06502	-0.57726	1.1049	-0.57726	0.22081
19	-0.62304	0.06185	-0.66403	1.10971	-0.66403	0.23145
20	-0.70501	0.05694	-0.74064	1.11169	-0.74064	0.23587
21	-0.77627	0.05036	-0.80608	1.10889	-0.80608	0.22964
22	-0.83589	0.04228	-0.85949	1.09642	-0.85949	0.20213
23	-0.88308	0.03291	-0.90015	1.05919	-0.90015	0.12189
24	-0.91723	0.02253	-0.92756	0.93747	-0.92756	-0.12115
25	-0.93789	0.01144	-0.94135	0.47247	-0.94135	-0.77677
26	-0.94481	0	-0.94135	-0.47249	-0.94135	-0.77675
27	-0.93789	-0.01144	-0.92756	-0.93748	-0.92756	-0.12113
28	-0.91723	-0.02253	-0.90015	-1.0592	-0.90015	0.12191
29	-0.88308	-0.03291	-0.85949	-1.09642	-0.85949	0.20214
30	-0.83589	-0.04228	-0.80608	-1.1089	-0.80608	0.22965
31	-0.77627	-0.05036	-0.74064	-1.1117	-0.74064	0.23587
32	-0.70501	-0.05694	-0.66403	-1.10971	-0.66403	0.23146
33	-0.62304	-0.06185	-0.57726	-1.10491	-0.57726	0.22082
34	-0.53148	-0.06502	-0.48153	-1.09825	-0.48153	0.20615
35	-0.43158	-0.06643	-0.37817	-1.0903	-0.37817	0.18876
36	-0.32475	-0.06613	-0.26863	-1.08145	-0.26863	0.16953
37	-0.21251	-0.06425	-0.15451	-1.07197	-0.15451	0.14912
38	-0.09651	-0.06099	-0.03751	-1.06211	-0.03751	0.12808
39	0.0215	-0.05657	0.08059	-1.05209	0.08059	0.1069
40	0.13969	-0.05128	0.19793	-1.0421	0.19793	0.08598
41	0.25617	-0.04541	0.31261	-1.03233	0.31261	0.06571
42	0.36905	-0.03925	0.42272	-1.02296	0.42272	0.04644
43	0.4764	-0.03308	0.52638	-1.01413	0.52638	0.02847
44	0.57637	-0.02716	0.62177	-1.00599	0.62177	0.01203
45	0.66717	-0.02166	0.70716	-0.99862	0.70716	-0.00276
46	0.74715	-0.01671	0.78098	-0.99197	0.78098	-0.01599
47	0.81481	-0.01239	0.84183	-0.98572	0.84183	-0.02836
48	0.86885	-0.00866	0.88854	-0.97824	0.88854	-0.04304
49	0.90823	-0.00545	0.9202	-0.95415	0.9202	-0.08961
50	0.93217	-0.00263	0.93619	0.93	0.93619	-1.81505

**Data Masukan**

Jari-jari = 0,5 m

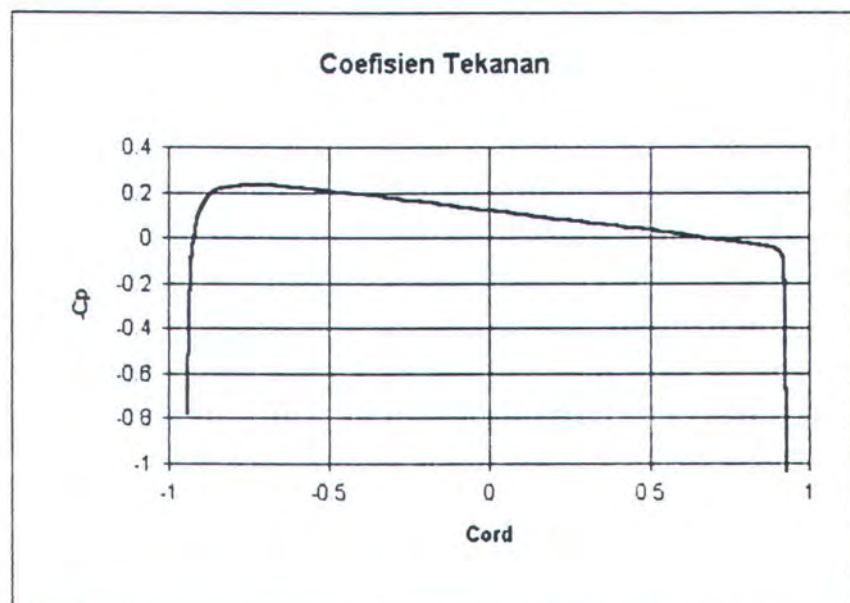
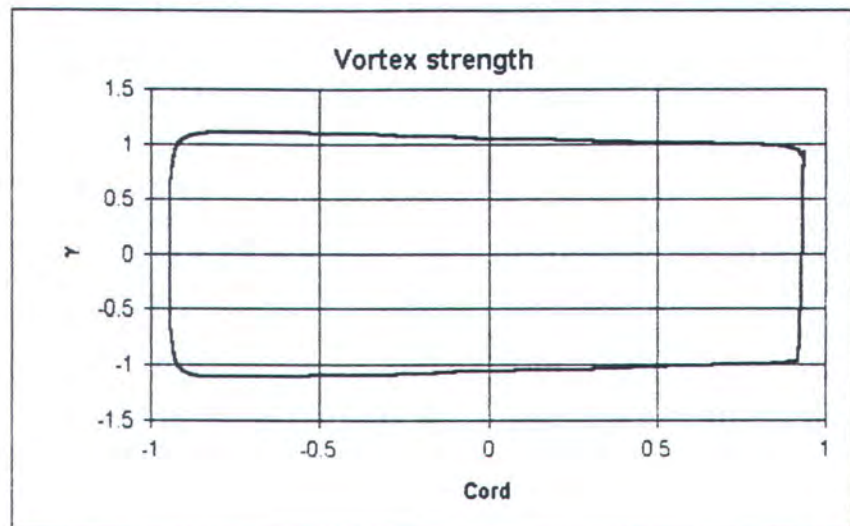
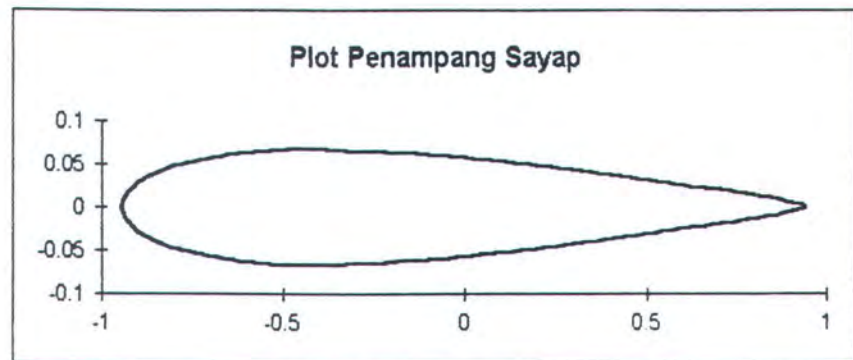
Jumlah panel = 50

Koordinat geser ( $x_d$ ) = -0,02 m

Angle of attack = 0

Koordinat geser ( $y_d$ ) = 0

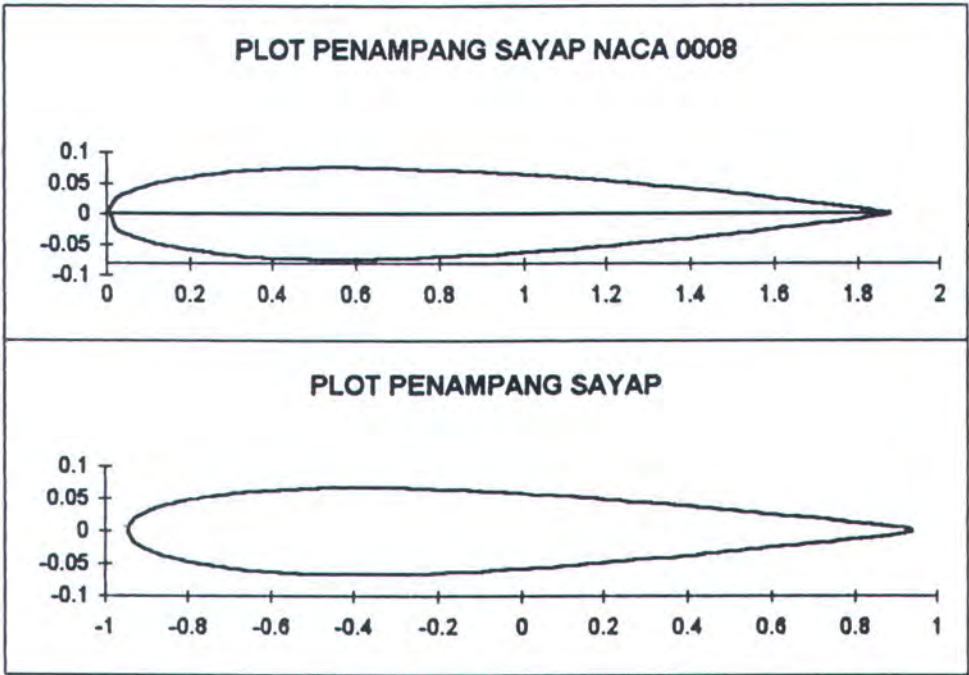
Kecepatan aliran = 1





Perbandingan hasil Plot penampang sayap  
dengan profil NACA 0008

NACA 0008		Cord=1.87754	
x per cen c	y per cen c	x	y
0	0	0	0
0.5		0.009388	0.01
1.25	1.263	0.023469	0.023713
2.5	1.743	0.046939	0.032726
5	2.369	0.093877	0.044479
7.5	2.8	0.140816	0.052571
10	3.121	0.187754	0.058598
15	3.564	0.281631	0.066916
20	3.825	0.375508	0.071816
25	3.961	0.469385	0.074369
30	4.001	0.563262	0.07512
40	3.869	0.751016	0.072642
50	3.529	0.93877	0.066258
60	3.043	1.126524	0.057134
70	2.443	1.314278	0.045868
80	1.749	1.502032	0.032838
90	0.965	1.689786	0.018118
95	0.537	1.783663	0.010082
100	0.084	1.87754	0.001577



Data masukan

Jari - jari = 0.5 m

Jumlah panel = 50

Koordinat geser (xd) = -0.02 m

Anggle of attack = 1

Koordinat geser (yd) = 0.00 m

Kecepatan aliran = 1

No	X	Y	Xnode	v	Xnode	CP
1	0.94007	-0.01641	0.936	0.95	0.93607	-0.17
2	0.93208	-0.01364	0.92013	0.95546	0.92013	-0.08709
3	0.90819	-0.0104	0.88853	0.98073	0.88853	-0.03816
4	0.86887	-0.00651	0.84188	0.98939	0.84188	-0.0211
5	0.8149	-0.00184	0.78111	0.99686	0.78111	-0.00628
6	0.74733	0.00367	0.70739	1.00476	0.70739	0.00955
7	0.66745	0.01001	0.6221	1.01347	0.6221	0.02712
8	0.57675	0.01709	0.52683	1.02303	0.52683	0.04659
9	0.4769	0.02476	0.42329	1.03339	0.42329	0.0679
10	0.36967	0.0328	0.3133	1.04445	0.3133	0.09088
11	0.25693	0.04093	0.19874	1.05608	0.19874	0.1153
12	0.14056	0.04883	0.08152	1.06814	0.08152	0.14093
13	0.02248	0.05619	-0.03647	1.08051	-0.03647	0.1675
14	-0.09543	0.06266	-0.15339	1.09305	-0.15339	0.19475
15	-0.21135	0.06795	-0.26745	1.10564	-0.26745	0.22244
16	-0.32355	0.07179	-0.37695	1.11817	-0.37695	0.25031
17	-0.43036	0.07395	-0.48031	1.13054	-0.48031	0.27813
18	-0.53027	0.07429	-0.57607	1.14267	-0.57607	0.30569
19	-0.62187	0.07272	-0.66289	1.15444	-0.66289	0.33273
20	-0.70391	0.06923	-0.73959	1.16567	-0.73959	0.35879
21	-0.77528	0.0639	-0.80515	1.17583	-0.80515	0.38257
22	-0.83503	0.05686	-0.8587	1.18294	-0.8587	0.39936
23	-0.88237	0.04832	-0.89953	1.17878	-0.89953	0.38952
24	-0.91669	0.03853	-0.92712	1.12265	-0.92712	0.26034
25	-0.93755	0.02781	-0.94111	0.80051	-0.94111	-0.35919
26	-0.94466	0.01649	-0.94131	-0.14431	-0.94131	-0.97917
27	-0.93795	0.00493	-0.92771	-0.75202	-0.92771	-0.43447
28	-0.91748	-0.00652	-0.9005	-0.93929	-0.9005	-0.11773
29	-0.88352	-0.01749	-0.86001	-1.00956	-0.86001	0.01921
30	-0.8365	-0.02768	-0.80677	-1.04162	-0.80677	0.08497
31	-0.77704	-0.0368	-0.74147	-1.05738	-0.74147	0.11806
32	-0.7059	-0.04462	-0.66496	-1.06464	-0.66496	0.13346
33	-0.62403	-0.05097	-0.57828	-1.06681	-0.57828	0.13808
34	-0.53254	-0.05574	-0.48261	-1.06562	-0.48261	0.13555
35	-0.43268	-0.05888	-0.37927	-1.0621	-0.37927	0.12806
36	-0.32585	-0.06045	-0.26973	-1.05692	-0.26973	0.11709
37	-0.2136	-0.06053	-0.15558	-1.05056	-0.15558	0.10368
38	-0.09756	-0.05929	-0.03853	-1.04339	-0.03853	0.08867
39	0.02051	-0.05694	0.07964	-1.03572	0.07964	0.07271
40	0.13877	-0.05371	0.19706	-1.02781	0.19706	0.05638
41	0.25534	-0.04987	0.31182	-1.0199	0.31182	0.04019
42	0.3683	-0.04568	0.42203	-1.0122	0.42203	0.02456
43	0.47575	-0.04139	0.52578	-1.00492	0.52578	0.00987
44	0.57581	-0.03721	0.62125	-0.99821	0.62125	-0.00358
45	0.66669	-0.0333	0.70672	-0.99217	0.70672	-0.0156
46	0.74675	-0.02975	0.78061	-0.98678	0.78061	-0.02626
47	0.81447	-0.0266	0.84152	-0.98174	0.84152	-0.03618
48	0.86856	-0.02382	0.88828	-0.97545	0.88828	-0.04851
49	0.908	-0.0213	0.91999	-0.95254	0.91999	-0.09267
50	0.93199	-0.01889	0.93603	1	0.93603	-0.14



Data masukan

Jari - jari = 0.5 m

Jumlah panel = 50

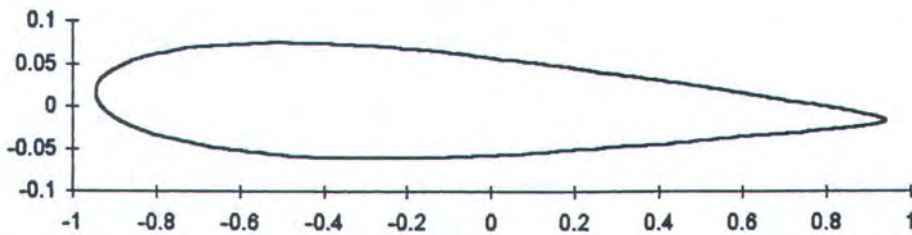
Koordinat geser ( $x_d$ ) = -0.02 m

Angle of attack = 1

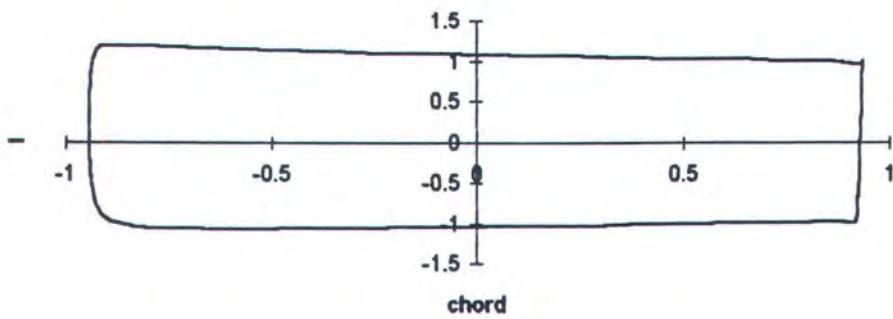
Koordinat geser ( $y_d$ ) = 0.00 m

Kecepatan aliran = 1

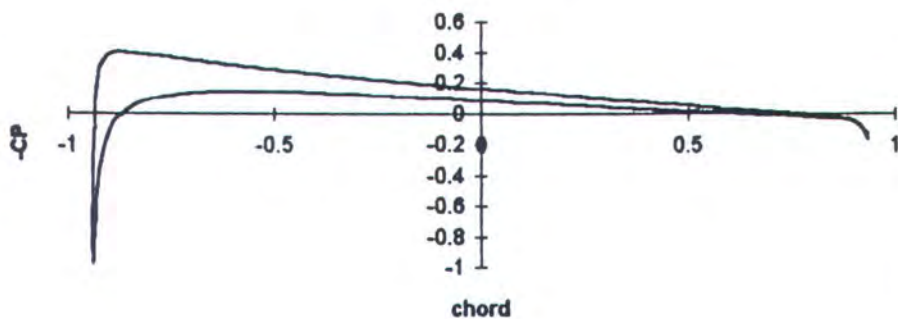
Penampang sayap



Vortex strength



Coefisien Tekanan



Data masukan

Jari-jari = 0.5 m

Angle of attack = 0

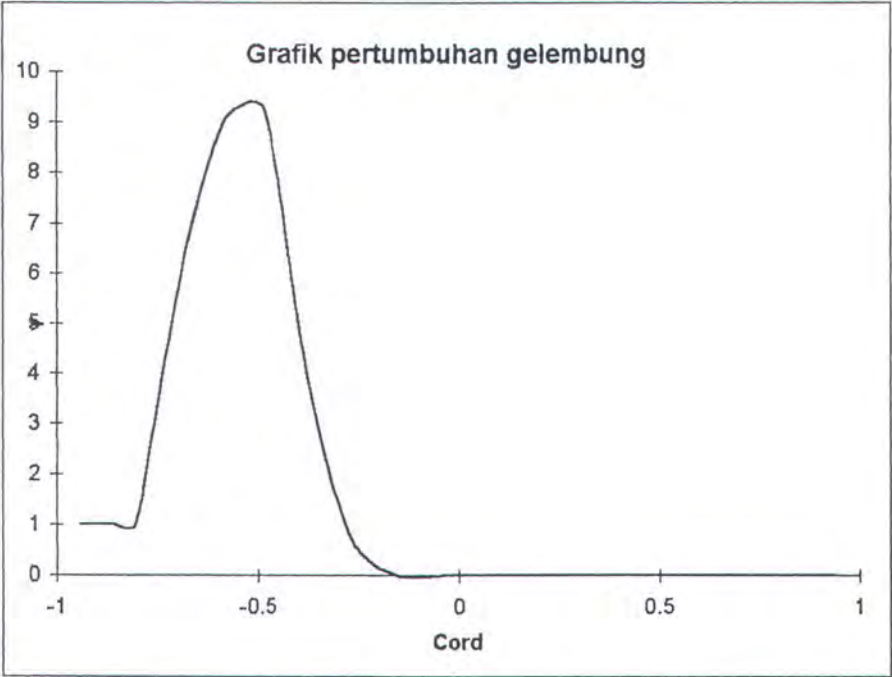
xd = -0.02 m

Kecepatan aliran = 1 m/det

yd = 0

Panjang daerah kavitasi = 0.472

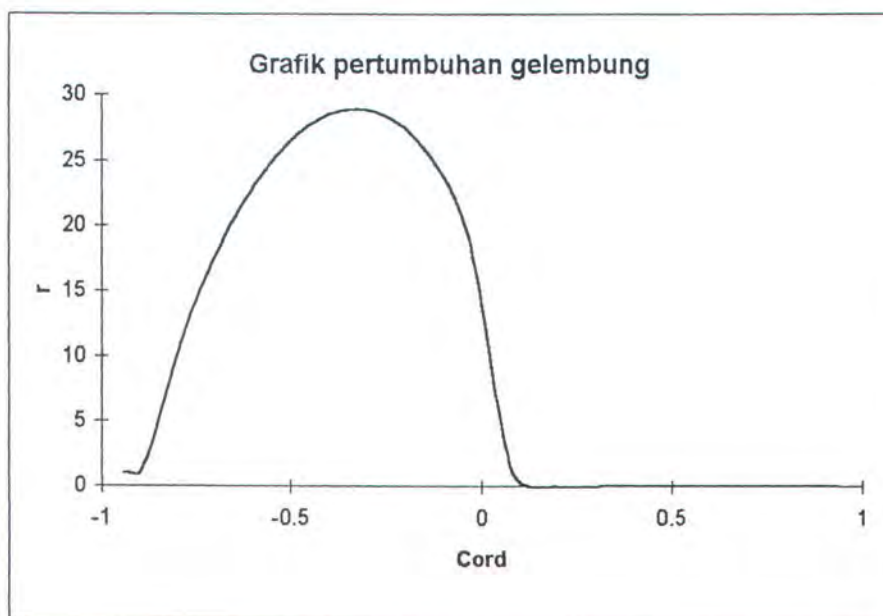
No	Xnode	CP	PRESSURE	DIAMETER
25	-0.94135	-0.77677	1398.38613	1
24	-0.92756	-0.12115	1070.57563	1
23	-0.90015	0.12189	949.05538	1
22	-0.85949	0.20213	908.9351	1
21	-0.80608	0.22964	895.1797	1
20	-0.74064	0.23587	892.0672	3.81331
19	-0.66403	0.23145	894.27437	6.9822
18	-0.57726	0.22081	899.59453	9.0812
17	-0.48153	0.20615	906.92581	9.24967
16	-0.37817	0.18876	915.62095	4.06608
15	-0.26863	0.16952	925.23834	Collapse
14	-0.15451	0.14911	935.44287	Collapse
13	-0.03751	0.12808	945.96118	Collapse
12	0.08059	0.10689	956.55551	Collapse
11	0.19793	0.08597	967.01471	Collapse
10	0.31261	0.0657	977.14817	Collapse
9	0.42272	0.04643	986.78373	Collapse
8	0.52638	0.02846	995.77102	Collapse
7	0.62177	0.01202	1003.99184	Collapse
6	0.70716	-0.00277	1011.38434	Collapse
5	0.78098	-0.016	1017.99828	Collapse
4	0.84183	-0.02837	1024.18289	Collapse
3	0.88854	-0.04305	1031.52721	Collapse
2	0.9202	-0.08961	1054.80272	Collapse
1	0.93619	-1.81505	1917.52542	Collapse



Data masukan

Jari-jari = 0.5 m      Anggle of attack = 0.5  
 xd = -0.02 m      Kecepatan aliran = 1 m/det  
 yd = 0 m  
 Panjang daerah kavitasi = 0.94019

No	Xnode	CP	PRESSURE	DIAMETER
25	-0.94126	-0.59486	1307.42903	1
24	-0.92737	0.0611	979.45176	1
23	-0.89988	0.25222	883.88822	1
22	-0.85913	0.29897	860.51574	4.29145
21	-0.80565	0.30508	857.45771	9.76352
20	-0.74015	0.2967	861.6506	15.06618
19	-0.66348	0.28169	869.15719	19.86435
18	-0.57669	0.26299	878.50652	23.9149
17	-0.48094	0.24197	889.01407	26.94926
16	-0.37757	0.21943	900.28508	28.64855
15	-0.26805	0.19592	912.03805	28.59864
14	-0.15396	0.17191	924.04449	26.13821
13	-0.03699	0.14779	936.10527	19.6463
12	0.08106	0.12393	948.03579	Collapse
11	0.19834	0.10067	959.66471	Collapse
10	0.31297	0.07834	970.832	Collapse
9	0.42302	0.05722	981.38973	Collapse
8	0.52663	0.03759	991.20742	Collapse
7	0.62196	0.01963	1000.18442	Collapse
6	0.7073	0.00346	1008.27208	Collapse
5	0.78108	-0.01107	1015.53465	Collapse
4	0.84189	-0.02466	1022.33233	Collapse
3	0.88857	-0.04054	1030.26938	Collapse
2	0.9202	-0.08828	1054.14247	Collapse
1	0.93617	-1.81483	1917.41503	Collpase

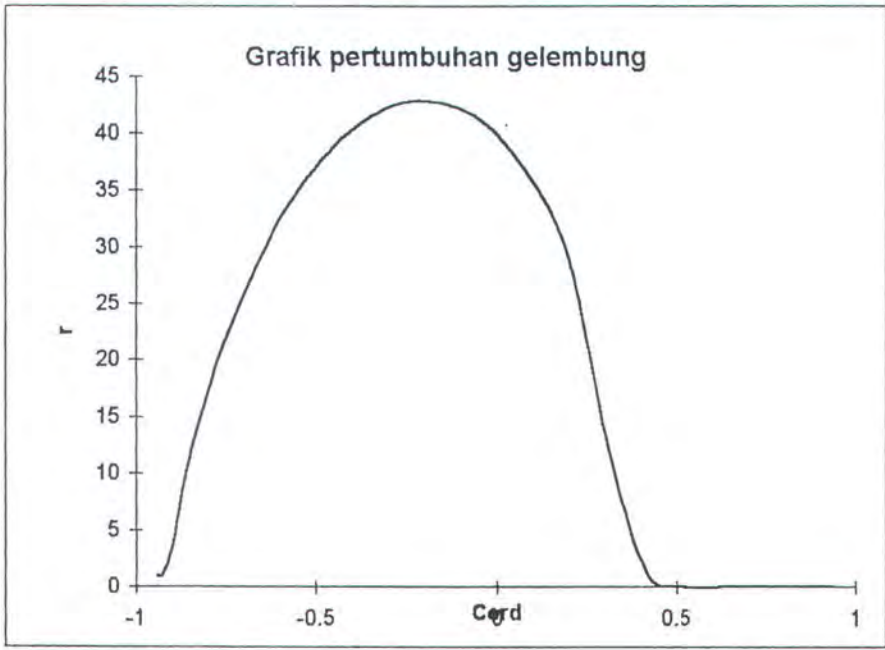




Data masukan

Jari-jari = 0.5 m      Anggle of attack      1  
xd = -0.02 m      Kecepatan aliran      1 m/det  
yd = 0  
Panjang daerah kavitasi = 1.32282

No	Xnode	CP	PRESSURE	DIAMETER
25	-0.94111	-0.35919	1189.59468	1
24	-0.92712	0.26034	879.83131	1
23	-0.89953	0.38952	815.23784	3.43366
22	-0.8587	0.39936	810.32139	10.02591
21	-0.80515	0.38257	818.71271	16.54108
20	-0.73959	0.35879	830.60345	22.73822
19	-0.66289	0.33273	843.63633	28.46011
18	-0.57607	0.30569	857.1567	33.52074
17	-0.48031	0.27813	870.93491	37.70646
16	-0.37695	0.25031	884.84665	40.79697
15	-0.26745	0.22244	898.78135	42.54992
14	-0.15339	0.19475	912.62347	42.70439
13	-0.03647	0.1675	926.25132	40.93882
12	0.08152	0.14093	939.53628	36.77599
11	0.19874	0.1153	952.34878	29.16078
10	0.3133	0.09088	964.56015	12.22736
9	0.42329	0.0679	976.04809	Collapse
8	0.52683	0.04659	986.70251	Collapse
7	0.6221	0.02712	996.43945	Collapse
6	0.70739	0.00955	1005.22638	Collapse
5	0.78111	-0.00628	1013.13867	Collapse
4	0.84188	-0.0211	1020.55216	Collapse
3	0.88853	-0.03816	1029.07994	Collapse
2	0.92013	-0.08709	1053.54732	Collapse
1	0.93607	-1.81418	1917.09168	Collapse

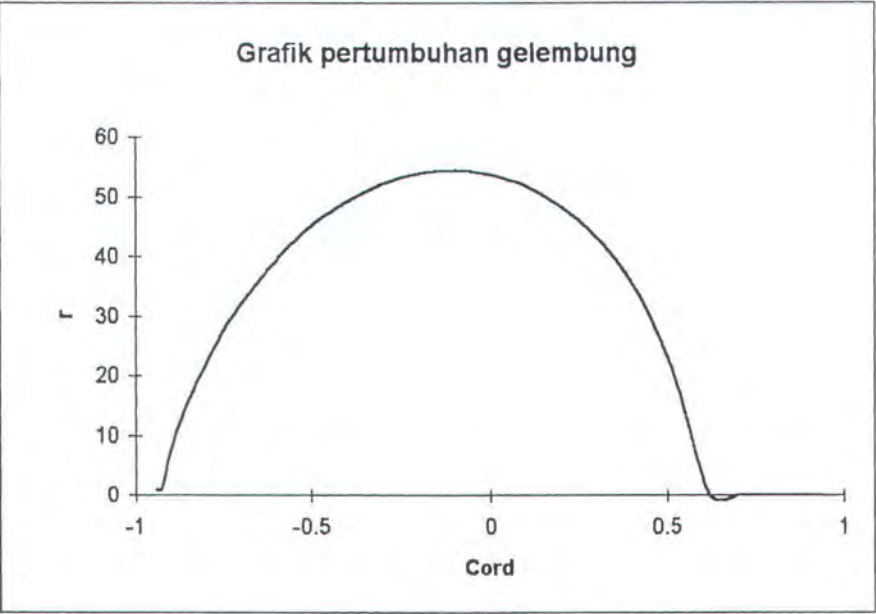


Data masukan

Jari-jari = 0.5 m                      Angle of attack = 1.5  
xd = -0.02 m                      Kecepatan aliran = 1 m/det  
yd = 0 m

Panjang kavitasi = 1.5213

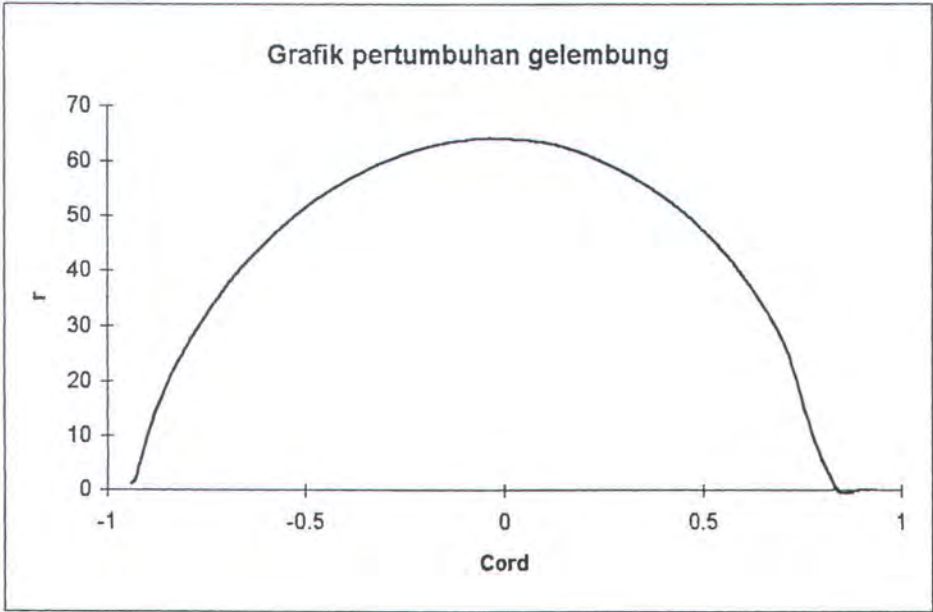
No	Xnode	CP	PRESSURE	DIAMETER
25	-0.94088	-0.0699	1044.95017	1
24	-0.9268	0.47647	771.76563	1
23	-0.89912	0.53372	743.14047	7.49121
22	-0.85821	0.50324	758.37783	14.73364
21	-0.80459	0.46207	778.96557	21.87595
20	-0.73898	0.42212	798.94129	28.74278
19	-0.66224	0.38455	817.72524	35.17427
18	-0.57541	0.34888	835.55752	40.98847
17	-0.47965	0.3146	852.69953	45.99349
16	-0.3763	0.28137	869.31577	49.99615
15	-0.26683	0.24905	885.47715	52.80469
14	-0.15282	0.21763	901.18741	54.2325
13	-0.03595	0.18719	916.40672	54.10745
12	0.08198	0.15787	931.06441	52.25674
11	0.19913	0.12985	945.07374	48.4905
10	0.31361	0.10332	958.33924	42.51059
9	0.42352	0.07847	970.76505	33.64261
8	0.52699	0.05548	982.26158	18.81591
7	0.6222	0.03447	992.76387	Collapse
6	0.70742	0.0155	1002.25237	Collapse
5	0.78109	-0.00164	1010.81832	Collapse
4	0.84181	-0.0177	1018.84766	Collapse
3	0.88842	-0.03594	1027.96943	Collapse
2	0.91999	-0.08607	1053.03582	Collapse
1	0.9359	-1.81312	1916.55869	Collapse



Data masukan

Jari-jari = 0.5 m                      Angle of attack = 2  
xd = -0.02 m                      Kecepatan aliran = 1 m/det  
yd = 0 m  
Panjang kavitasi = 1.7681

No	Xnode	CP	PRESSURE	DIAMETER
25	-0.94058	0.27295	873.52488	1
24	-0.9264	0.70944	655.27801	2.48196
23	-0.89864	0.68478	667.60899	10.27676
22	-0.85765	0.61061	704.69437	18.15613
21	-0.80398	0.54355	738.22371	25.90483
20	-0.73832	0.48666	766.66997	33.38714
19	-0.66155	0.43714	791.4284	40.44698
18	-0.5747	0.39258	813.7121	46.91319
17	-0.47895	0.35138	834.30936	52.59952
16	-0.37562	0.31261	853.69341	57.32592
15	-0.26619	0.27575	872.12626	60.92302
14	-0.15223	0.24053	889.73698	63.23619
13	-0.03543	0.20686	906.57102	64.13795
12	0.08243	0.17476	922.61878	63.53181
11	0.1995	0.14432	937.83821	61.36327
10	0.3139	0.11566	952.16799	57.61077
9	0.42373	0.08892	965.53847	52.28576
8	0.52711	0.06423	977.88322	45.40632
7	0.62224	0.04169	989.15394	36.92727
6	0.7074	0.0213	999.34755	26.39996
5	0.78101	0.00286	1008.56979	9.32906
4	0.84168	-0.01443	1017.21492	Collapse
3	0.88824	-0.03386	1026.93157	Collapse
2	0.91978	-0.08518	1052.58844	Collapse
1	0.93567	-1.81162	1915.81059	Collapse

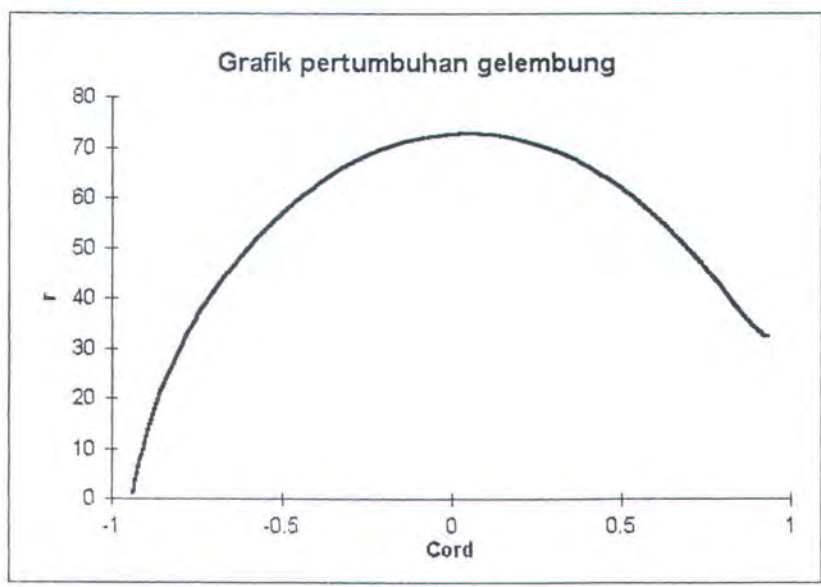




Data masukan

Jari-jari = 0,5 m                      Anggle of attack = 2,5  
xd = -0,02 m                      Kecepatan aliran = 1 m/det  
yd = 0 m                      Po = 1010 Pa  
Panjang kavitasi = 1,87556 m

No	Xnode	CP	PRESSURE	DIAMETER
25	-0.9402	0.66936	675.32117	1
24	-0.92593	0.95926	530.36887	5.73887
23	-0.89809	0.84271	588.64457	13.40019
22	-0.85703	0.72145	649.27287	21.49436
21	-0.8033	0.62703	696.48586	29.62203
20	-0.7376	0.55242	733.78904	37.55934
19	-0.6608	0.49051	764.7449	45.12084
18	-0.57395	0.43676	791.61876	52.11945
17	-0.47821	0.38847	815.76341	58.36847
16	-0.37492	0.34404	837.97801	63.68816
15	-0.26553	0.30255	858.72693	67.91731
14	-0.15163	0.26346	878.2701	70.91658
13	-0.03491	0.22652	896.74238	72.57794
12	0.08287	0.19161	914.19746	72.83704
11	0.19985	0.15872	930.63967	71.67889
10	0.31416	0.12791	946.04299	69.15434
9	0.4239	0.09927	960.36551	65.38
8	0.5272	0.07288	973.56248	60.55738
7	0.62224	0.04879	985.60489	54.98727
6	0.70733	0.02699	996.50737	49.07786
5	0.78087	0.00723	1006.38529	43.34356
4	0.84148	-0.0113	1015.65061	38.39216
3	0.888	-0.03192	1025.9579	34.78815
2	0.9195	-0.08441	1052.20295	32.76251
1	0.93536	-1.8097	1914.84786	32.40387

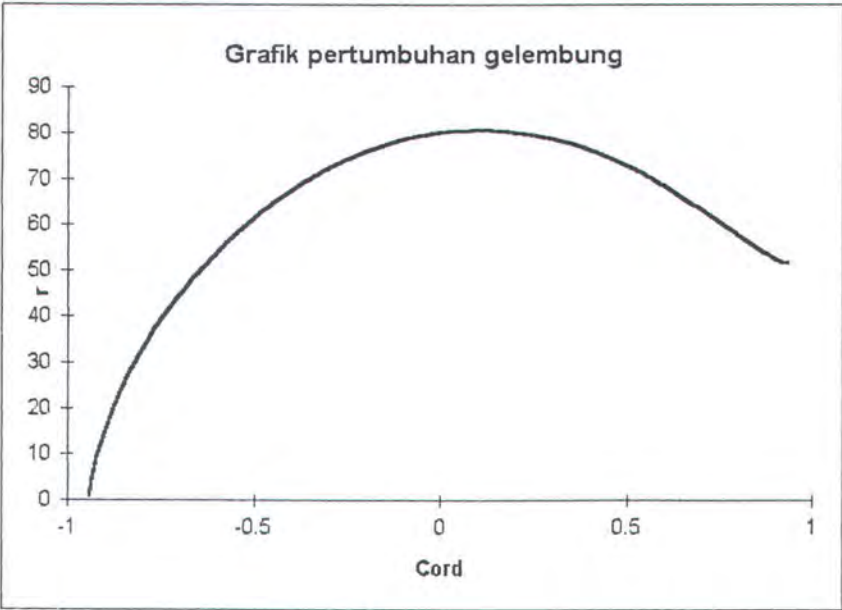


Data masukan

Jari-jari = 0,5 m  
xd = -0,02 m  
yd = 0 m  
Panjang kavitasi = 1,87474 m

anggle of attack = 3  
Kecepatan aliran = 1 m/det  
Po = 1010 Pa

No	Xnode	CP	PRESSURE	DIAMETER
25	-0.93976	1.11898	450.50789	1
24	-0.9254	1.2257	397.14933	7.2792
23	-0.89747	1.00737	506.31703	15.33713
22	-0.85634	0.83568	592.16122	23.83789
21	-0.80255	0.71242	653.79159	32.41463
20	-0.73682	0.61934	700.33006	40.83221
19	-0.66001	0.5446	737.7011	48.89203
18	-0.57315	0.4814	769.30129	56.39958
17	-0.47743	0.42584	797.08223	63.16673
16	-0.37418	0.37562	822.18833	69.02193
15	-0.26485	0.32941	845.29598	73.80322
14	-0.15102	0.2864	866.80217	77.38101
13	-0.03438	0.24613	886.93532	79.65903
12	0.0833	0.20837	905.81422	80.58606
11	0.20019	0.17302	923.49171	80.1664
10	0.3144	0.14004	939.97779	78.47116
9	0.42404	0.10948	955.25894	75.64689
8	0.52724	0.08137	969.31493	71.92787
7	0.6222	0.05573	982.13365	67.63993
6	0.7072	0.03251	993.74569	63.18764
5	0.78067	0.01144	1004.28195	59.0324
4	0.84122	-0.00833	1014.1656	55.62112
3	0.88769	-0.03014	1025.07026	53.25587
2	0.91915	-0.0838	1051.89855	51.97419
1	0.93498	-1.80734	1913.66787	51.74911



Data masukan

Jari-jari = 0.5 m

Anggle of attack = 2

xd = -0.02 m

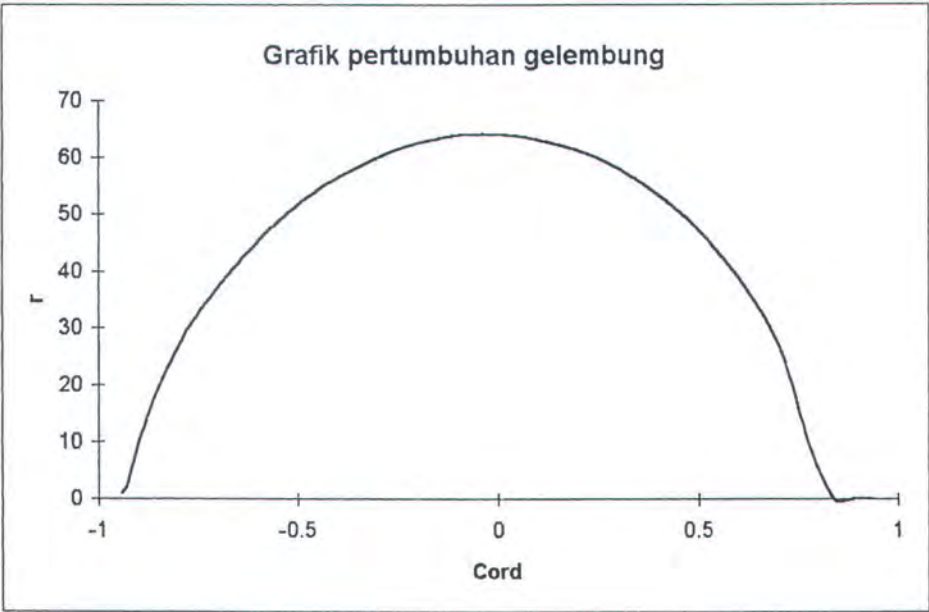
Kecepatan aliran = 1 m/det

yd = 0 m

Po = 1010 Pa

Panjang kavitasi = 1.7681

No	Xnode	CP	PRESSURE	DIAMETER
25	-0.94058	0.27295	873.52488	1
24	-0.9264	0.70944	655.27801	2.48196
23	-0.89864	0.68478	667.60899	10.27676
22	-0.85765	0.61061	704.69437	18.15613
21	-0.80398	0.54355	738.22371	25.90483
20	-0.73832	0.48666	766.66997	33.38714
19	-0.66155	0.43714	791.4284	40.44698
18	-0.5747	0.39258	813.7121	46.91319
17	-0.47895	0.35138	834.30936	52.59952
16	-0.37562	0.31261	853.69341	57.32592
15	-0.26619	0.27575	872.12626	60.92302
14	-0.15223	0.24053	889.73698	63.23619
13	-0.03543	0.20686	906.57102	64.13795
12	0.08243	0.17476	922.61878	63.53181
11	0.1995	0.14432	937.83821	61.36327
10	0.3139	0.11566	952.16799	57.61077
9	0.42373	0.08892	965.53847	52.28576
8	0.52711	0.06423	977.88322	45.40632
7	0.62224	0.04169	989.15394	36.92727
6	0.7074	0.0213	999.34755	26.39996
5	0.78101	0.00286	1008.56979	9.32906
4	0.84168	-0.01443	1017.21492	Collapse
3	0.88824	-0.03386	1026.93157	Collapse
2	0.91978	-0.08518	1052.58844	Collapse
1	0.93567	-1.81162	1915.81059	Collapse





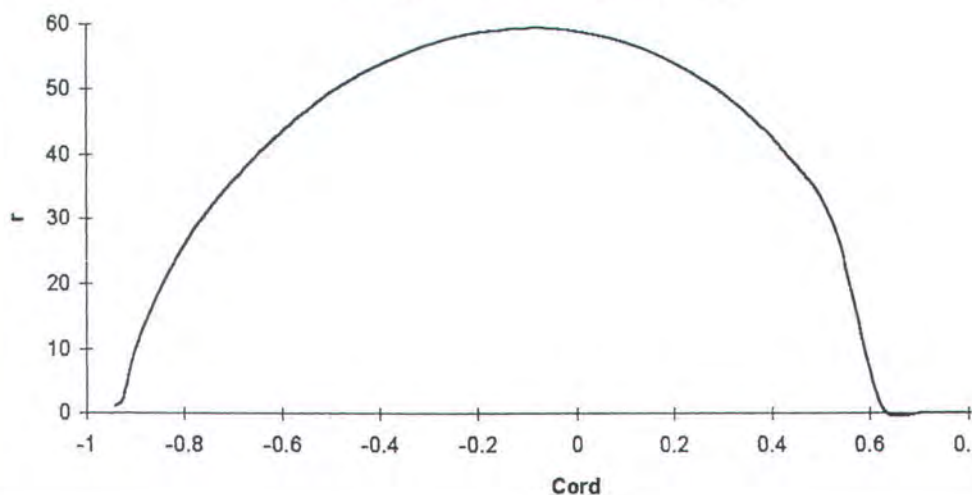
Data masukan

Jari-jari = 0.5 m      Anggle of attack = 2  
 xd = -0.02 m      Kecepatan aliran = 1 m/det  
 yd = 0 m      Po = 1020 Pa

Panjang lavitasi = 1.5486

No	Xnode	CP	PRESSURE	DIAMETER
25	-0.94058	0.27295	883.52488	1
24	-0.9264	0.70944	665.27801	2.08365
23	-0.89864	0.68478	677.60899	9.90402
22	-0.85765	0.61061	714.69437	17.66848
21	-0.80398	0.54355	748.22371	25.21696
20	-0.73832	0.48666	776.66997	32.43612
19	-0.66155	0.43714	801.4284	39.17163
18	-0.5747	0.39258	823.7121	45.24854
17	-0.47895	0.35138	844.30936	50.48121
16	-0.37562	0.31261	863.69341	54.67424
15	-0.26619	0.27575	882.12626	57.64559
14	-0.15223	0.24053	899.73698	59.2234
13	-0.03543	0.20686	916.57102	59.24837
12	0.08243	0.17476	932.61878	57.57466
11	0.1995	0.14432	947.83821	54.05839
10	0.3139	0.11566	962.16799	48.51809
9	0.42373	0.08892	975.53847	40.59099
8	0.52711	0.06423	987.88322	29.17548
7	0.62224	0.04169	999.15394	Collapse
6	0.7074	0.0213	1009.34755	Collapse
5	0.78101	0.00286	1018.56979	Collapse
4	0.84168	-0.01443	1027.21492	Collapse
3	0.88824	-0.03386	1036.93157	Collapse
2	0.91978	-0.08518	1062.58844	Collapse
1	0.93567	-1.81162	1925.81059	Collapse

Grafik pertumbuhan gelembung



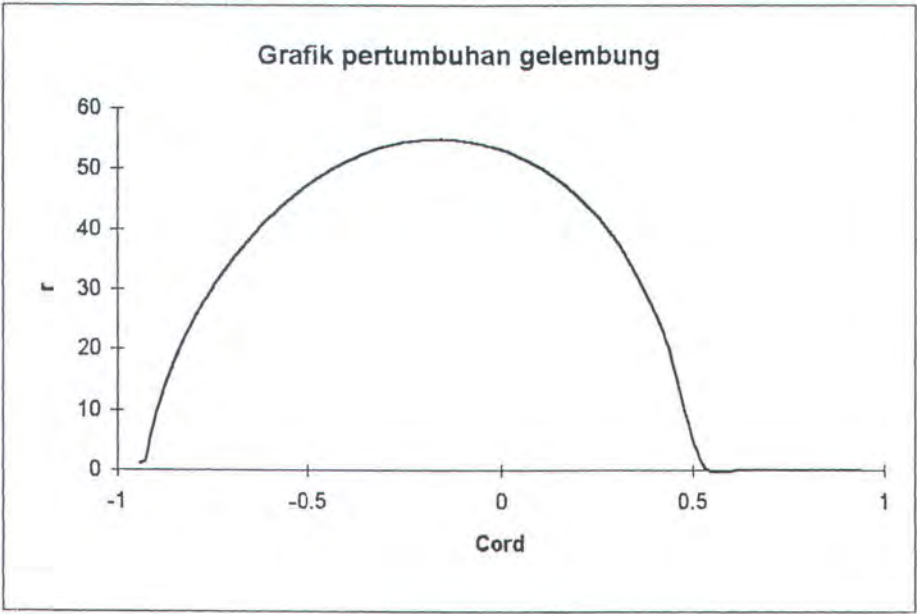
Data masukan

Jari-jari = 0.5 m  
xd = -0.02 m  
yd = 0 m

Angle of attack = 2  
Kecepatan aliran = 1 m/det  
Po = 1030 Pa

Panjang kavitasi = 1.4535

No	Xnode	CP	PRESSURE	DIAMETER
25	-0.94058	0.27295	893.52488	1
24	-0.9264	0.70944	675.27801	1.54286
23	-0.89864	0.68478	687.60899	9.47021
22	-0.85765	0.61061	724.69437	17.13566
21	-0.80398	0.54355	758.22371	24.49603
20	-0.73832	0.48666	786.66997	31.44711
19	-0.66155	0.43714	811.4284	37.84915
18	-0.5747	0.39258	833.7121	43.52096
17	-0.47895	0.35138	854.30936	48.26464
16	-0.37562	0.31261	873.69341	51.88214
15	-0.26619	0.27575	892.12626	54.16626
14	-0.15223	0.24053	909.73698	54.91374
13	-0.03543	0.20686	926.57102	53.90715
12	0.08243	0.17476	942.61878	50.90331
11	0.1995	0.14432	957.83821	45.5441
10	0.3139	0.11566	972.16799	37.09885
9	0.42373	0.08892	985.53847	22.81744
8	0.52711	0.06423	997.88322	Collpase
7	0.62224	0.04169	1009.15394	Collpase
6	0.7074	0.0213	1019.34755	Collpase
5	0.78101	0.00286	1028.56979	Collpase
4	0.84168	-0.01443	1037.21492	Collpase
3	0.88824	-0.03386	1046.93157	Collpase
2	0.91978	-0.08518	1072.58844	Collpase
1	0.93567	-1.81162	1935.81059	Collpase



Data masukan

Jari-jari = 0.5 m

Angle of attack = 2

xd = -0.02 m

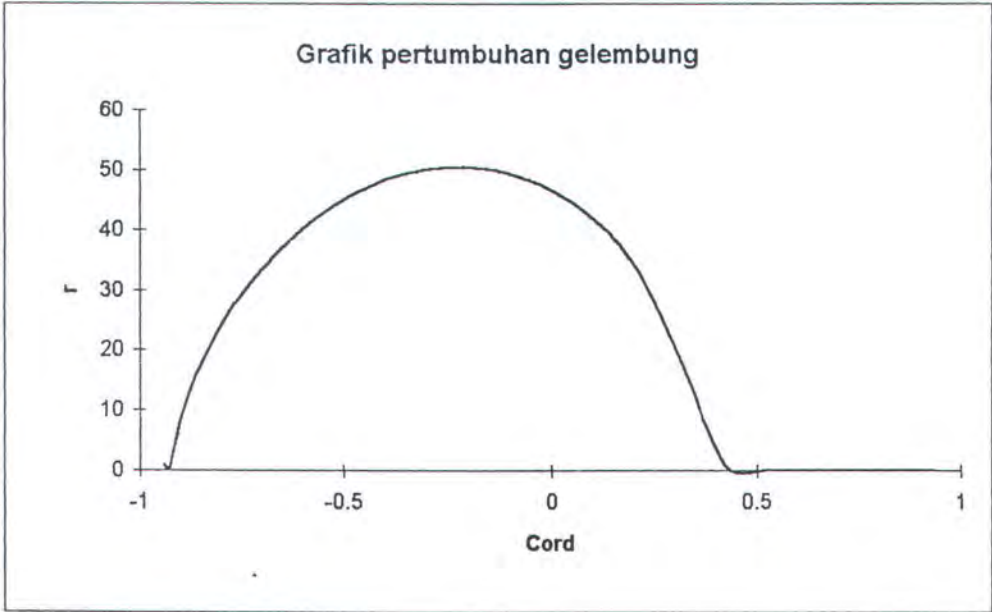
Kecepatan aliran = 1 m/det

yd = 0 m

Po = 1040 Pa

Panjang kavitasi = 1.3501

No	Xnode	CP	PRESSURE	DIAMETER
25	-0.94058	0.27295	903.52488	1
24	-0.9264	0.70944	685.27801	0.26446
23	-0.89864	0.68478	697.60899	8.70469
22	-0.85765	0.61061	734.69437	16.39194
21	-0.80398	0.54355	768.22371	23.60142
20	-0.73832	0.48666	796.66997	30.30808
19	-0.66155	0.43714	821.4284	36.37462
18	-0.5747	0.39258	843.7121	41.62952
17	-0.47895	0.35138	864.30936	45.86131
16	-0.37562	0.31261	883.69341	48.85539
15	-0.26619	0.27575	902.12626	50.37229
14	-0.15223	0.24053	919.73698	50.15238
13	-0.03543	0.20686	936.57102	47.8795
12	0.08243	0.17476	952.61878	43.07743
11	0.1995	0.14432	967.83821	34.74727
10	0.3139	0.11566	982.16799	18.48555
9	0.42373	0.08892	995.53847	Collapse
8	0.52711	0.06423	1007.88322	Collapse
7	0.62224	0.04169	1019.15394	Collapse
6	0.7074	0.0213	1029.34755	Collapse
5	0.78101	0.00286	1038.56979	Collapse
4	0.84168	-0.01443	1047.21492	Collapse
3	0.88824	-0.03386	1056.93157	Collapse
2	0.91978	-0.08518	1082.58844	Collapse
1	0.93567	-1.81162	1945.81059	Collapse





Data masukan

Jari-jari = 0.5 m

Anggle of attack = 2

xd = -0.02 m

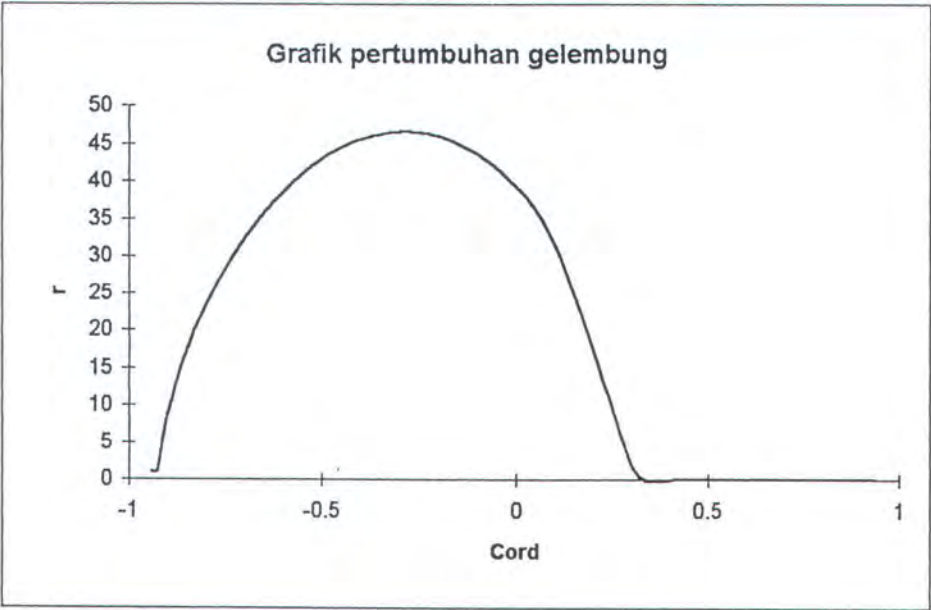
Kecepatan aliran = 1 m/det

yd = 0 m

Po = 1050 Pa

Panjang kavitasi = 1.2125

No	Xnode	CP	PRESSURE	DIAMETER
25	-0.94058	0.27295	913.52488	1
24	-0.9264	0.70944	695.27801	1
23	-0.89864	0.68478	707.60899	8.82903
22	-0.85765	0.61061	744.69437	16.19108
21	-0.80398	0.54355	778.22371	23.09646
20	-0.73832	0.48666	806.66997	29.46223
19	-0.66155	0.43714	831.4284	35.12791
18	-0.5747	0.39258	853.7121	39.90091
17	-0.47895	0.35138	874.30936	43.55392
16	-0.37562	0.31261	893.69341	45.84091
15	-0.26619	0.27575	912.12626	46.47341
14	-0.15223	0.24053	929.73698	45.09419
13	-0.03543	0.20686	946.57102	41.17566
12	0.08243	0.17476	962.61878	33.62827
11	0.1995	0.14432	977.83821	17.76112
10	0.3139	0.11566	992.16799	Collpase
9	0.42373	0.08892	1005.53847	Collpase
8	0.52711	0.06423	1017.88322	Collpase
7	0.62224	0.04169	1029.15394	Collpase
6	0.7074	0.0213	1039.34755	Collpase
5	0.78101	0.00286	1048.56979	Collpase
4	0.84168	-0.01443	1057.21492	Collpase
3	0.88824	-0.03386	1066.93157	Collpase
2	0.91978	-0.08518	1092.58844	Collpase
1	0.93567	-1.81162	1955.81059	Collpase



Data masukan

Jari-jari = 0.5 m

Angle of attack = 2

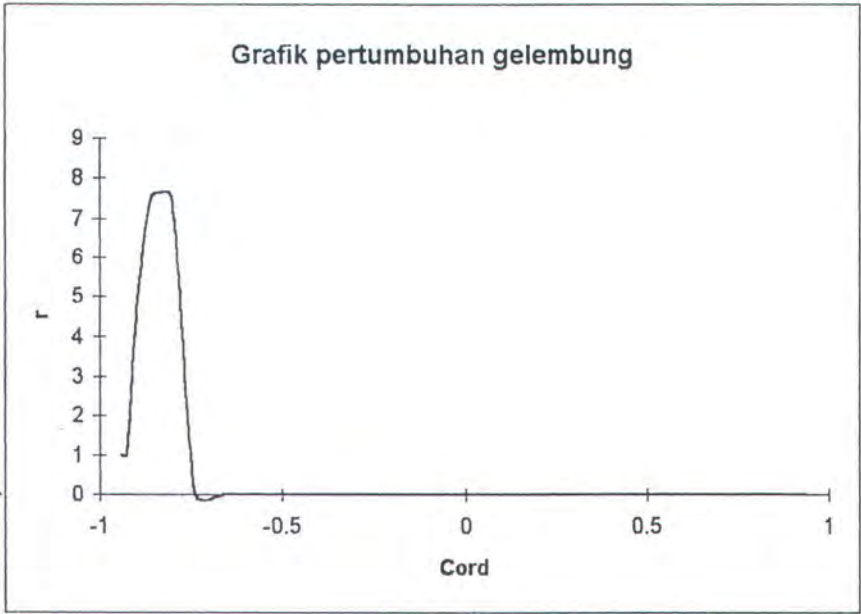
xd = -0.02 m

Kecepatan aliran = 0.6 m/det

yd = 0 m

Panjang kavitasi = 0.1603

No	Xnode	CP	PRESSURE	DIAMETER
25	-0.94058	0.27293	960.87175	1
24	-0.9264	0.70943	882.30198	1
23	-0.89864	0.68477	886.74049	4.55935
22	-0.85765	0.61061	900.09088	7.53473
21	-0.80398	0.54355	912.16124	7.50304
20	-0.73832	0.48666	922.40179	Collapse
19	-0.66155	0.43714	931.31471	Collapse
18	-0.5747	0.39257	939.33682	Collapse
17	-0.47895	0.35138	946.75173	Collapse
16	-0.37562	0.31261	953.72998	Collapse
15	-0.26619	0.27575	960.36581	Collapse
14	-0.15223	0.24052	966.70563	Collapse
13	-0.03543	0.20686	972.7658	Collapse
12	0.08243	0.17476	978.54299	Collapse
11	0.1995	0.14432	984.02196	Collapse
10	0.3139	0.11566	989.18074	Collapse
9	0.42373	0.08892	993.99415	Collapse
8	0.52711	0.06423	998.43824	Collapse
7	0.62224	0.04169	1002.49579	Collapse
6	0.7074	0.0213	1006.16547	Collapse
5	0.78101	0.00286	1009.48548	Collapse
4	0.84168	-0.01443	1012.59772	Collapse
3	0.88824	-0.03387	1016.09574	Collapse
2	0.91978	-0.08518	1025.33233	Collapse
1	0.93567	-1.81162	1336.09182	Collapse



Data masukan

Jari-jari = 0.5 m

Angle of attack = 2

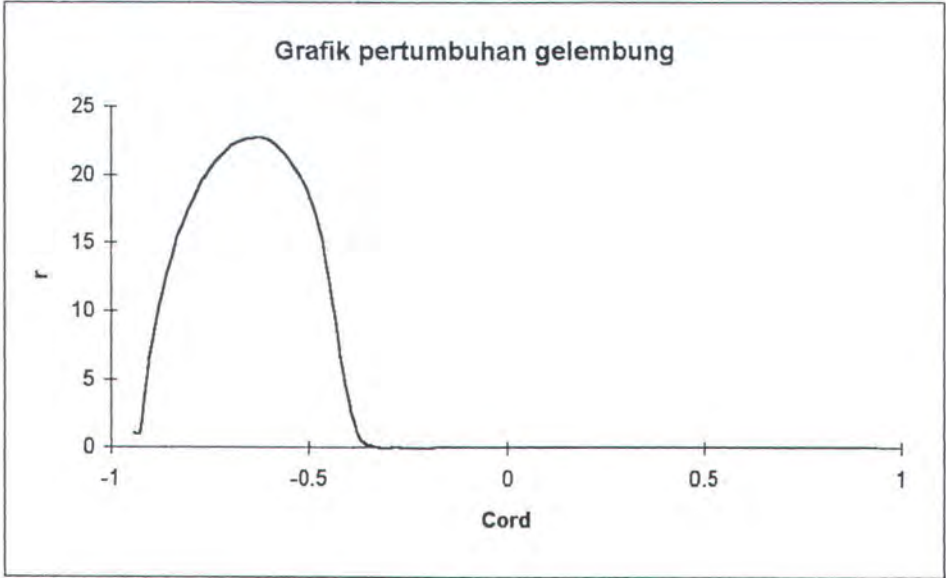
xd = -0.02 m

Kecepatan aliran = 0.7 m

yd = 0 m

Panjang kavitasi = 0.523

No	Xnode	CP	PRESSURE	DIAMETER
25	-0.94058	0.27296	943.12596	1
24	-0.9264	0.70945	836.1854	1
23	-0.89864	0.68478	842.22791	7.1324
22	-0.85765	0.61061	860.3999	12.81292
21	-0.80398	0.54355	876.8293	17.50815
20	-0.73832	0.48666	890.76806	20.92725
19	-0.66155	0.43714	902.8997	22.65284
18	-0.5747	0.39258	913.81877	21.94083
17	-0.47895	0.35138	923.91146	16.8807
16	-0.37562	0.31261	933.40957	Collapse
15	-0.26619	0.27575	942.44177	Collapse
14	-0.15223	0.24053	951.07093	Collapse
13	-0.03543	0.20686	959.31954	Collapse
12	0.08243	0.17476	967.18303	Collapse
11	0.1995	0.14432	974.64053	Collapse
10	0.3139	0.11566	981.66215	Collapse
9	0.42373	0.08892	988.21371	Collapse
8	0.52711	0.06423	994.26272	Collapse
7	0.62224	0.04169	999.7853	Collapse
6	0.7074	0.02131	1004.78023	Collapse
5	0.78101	0.00286	1009.2991	Collapse
4	0.84168	-0.01443	1013.53509	Collapse
3	0.88824	-0.03386	1018.29632	Collapse
2	0.91978	-0.08518	1030.86814	Collapse
1	0.93567	-1.81162	1453.84715	Collapse





Data masukan

Jari-jari = 0.5 m

Anggle of attack = 2

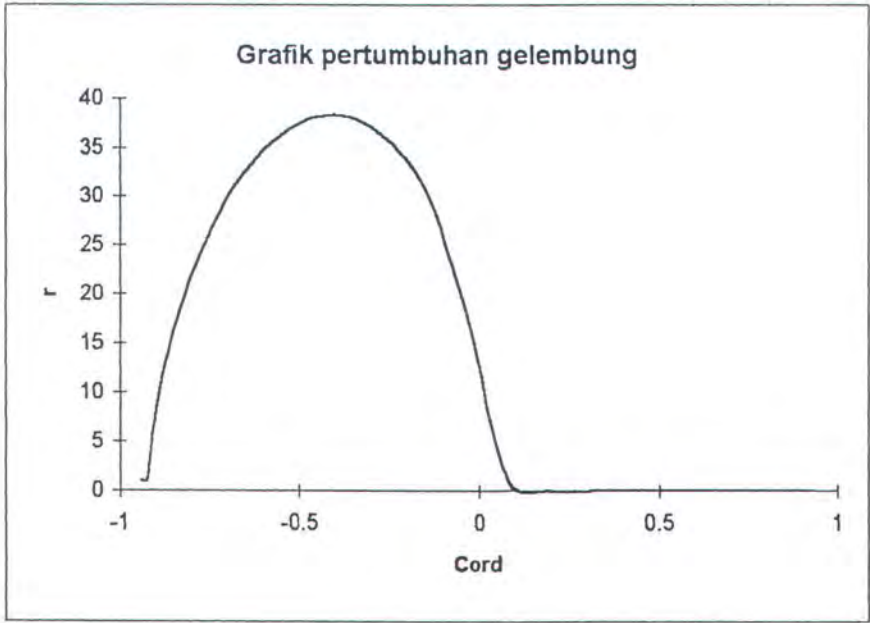
xd = -0.02 m

Kecepatan aliran = 0.8 m/det

yd = 0 m

Panjang kavitasi = 0.9811

No	Xnode	CP	PRESSURE	DIAMETER
25	-0.94058	0.27296	922.65343	1
24	-0.9264	0.70945	782.9763	1
23	-0.89864	0.68478	790.86883	8.36399
22	-0.85765	0.61061	814.60369	15.27425
21	-0.80398	0.54355	836.06267	21.60551
20	-0.73832	0.48666	854.26832	27.23737
19	-0.66155	0.43714	870.11375	31.98007
18	-0.5747	0.39258	884.37538	35.60273
17	-0.47895	0.35138	897.55767	37.80532
16	-0.37562	0.31261	909.96337	38.20837
15	-0.26619	0.27575	921.76047	36.2511
14	-0.15223	0.24053	933.03129	30.8639
13	-0.03543	0.20686	943.80513	18.09429
12	0.08243	0.17476	954.0756	1
11	0.1995	0.14432	963.81608	1
10	0.3139	0.11567	972.98712	1
9	0.42373	0.08892	981.54424	1
8	0.52711	0.06423	989.44496	1
7	0.62224	0.04169	996.65823	1
6	0.7074	0.02131	1003.18225	1
5	0.78101	0.00286	1009.08448	1
4	0.84168	-0.01443	1014.61721	1
3	0.88824	-0.03386	1020.83588	1
2	0.91978	-0.08518	1037.25607	1
1	0.93567	-1.81162	1589.71872	1



Data masukan

Jari-jari = 0.5 m

Angle of attack = 2

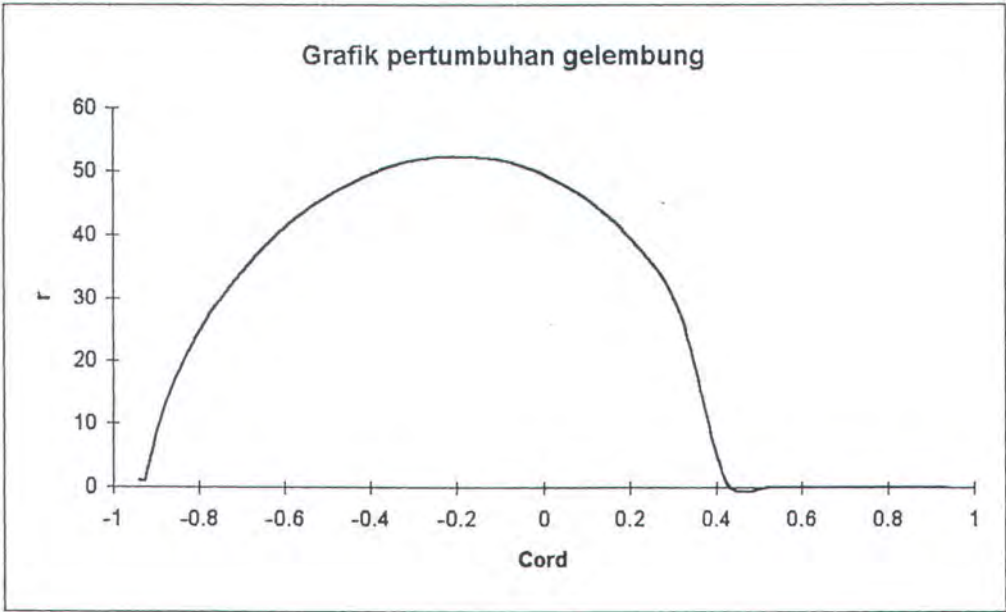
xd = -0.02 m

Kecepatan aliran = 0.9 m/de

yd = 0 m

Panjang kavitasi = 1.3501

No	Xnode	CP	PRESSURE	DIAMETER
25	-0.94058	0.27296	899.45119	1
24	-0.9264	0.70945	722.67259	1.07614
23	-0.89864	0.68479	732.66168	9.14815
22	-0.85765	0.61061	762.70125	16.77808
21	-0.80398	0.54355	789.8603	24.02917
20	-0.73832	0.48666	812.90191	30.83238
19	-0.66155	0.43714	832.95633	37.0392
18	-0.5747	0.39258	851.00621	42.46844
17	-0.47895	0.35138	867.69004	46.91711
16	-0.37562	0.31261	883.39116	50.17636
15	-0.26619	0.27575	898.32184	52.02578
14	-0.15223	0.24053	912.5865	52.23214
13	-0.03543	0.20686	926.22205	50.5272
12	0.08243	0.17476	939.22067	46.56196
11	0.1995	0.14432	951.54841	39.70572
10	0.3139	0.11567	963.15546	28.16153
9	0.42373	0.08892	973.98566	Collpase
8	0.52711	0.06423	983.98487	Collpase
7	0.62224	0.04169	993.11408	Collpase
6	0.7074	0.02131	1001.37088	Collpase
5	0.78101	0.00286	1008.84075	Collpase
4	0.84168	-0.01443	1015.84318	Collpase
3	0.88824	-0.03386	1023.71357	Collpase
2	0.91978	-0.08517	1044.49547	Collpase
1	0.93567	-1.81162	1743.70654	Collpase



Data masukan

Jari-jari  
xd  
yd

= 0.5 m  
= -0.02 m  
= 0 m

Angle of attack  
Kecepatan aliran

= 2  
= 1 m/det

Panjang kavitasi = 1.7681

No	Xnode	CP	PRESSURE	DIAMETER
25	-0.94058	0.27295	873.52488	1
24	-0.9264	0.70944	655.27801	2.48196
23	-0.89864	0.68478	667.60899	10.27676
22	-0.85765	0.61061	704.69437	18.15613
21	-0.80398	0.54355	738.22371	25.90483
20	-0.73832	0.48666	766.66997	33.38714
19	-0.66155	0.43714	791.4284	40.44698
18	-0.5747	0.39258	813.7121	46.91319
17	-0.47895	0.35138	834.30936	52.59952
16	-0.37562	0.31261	853.69341	57.32592
15	-0.26619	0.27575	872.12626	60.92302
14	-0.15223	0.24053	889.73698	63.23619
13	-0.03543	0.20686	906.57102	64.13795
12	0.08243	0.17476	922.61878	63.53181
11	0.1995	0.14432	937.83821	61.36327
10	0.3139	0.11566	952.16799	57.61077
9	0.42373	0.08892	965.53847	52.28576
8	0.52711	0.06423	977.88322	45.40632
7	0.62224	0.04169	989.15394	36.92727
6	0.7074	0.0213	999.34755	26.39996
5	0.78101	0.00286	1008.56979	9.32906
4	0.84168	-0.01443	1017.21492	Collapse
3	0.88824	-0.03386	1026.93157	Collapse
2	0.91978	-0.08518	1052.58844	Collapse
1	0.93567	-1.81162	1915.81059	Collapse

